



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## MODERNÍ ZÁŽEHOVÉ MOTORY ZNAČKY BMW

BMW UP-TO-DATE SI-ENGINES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Šroba

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Roman Šroba</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Radim Dundálek, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2016/17

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:

## **Moderní zážehové motory značky BMW**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Vytvoření přehledu konstrukčních řešení použitých u pohonných jednotek automobilů BMW.

### **Cíle bakalářské práce:**

Osvojení základních pojmů zadané problematiky. Vytvoření přehledu zajímavých a netradičních konstrukčních řešení. Zamyšlení nad budoucností zadaného tématu zejména v souvislosti s problematikou snižování škodlivých emisí výfukových plynů.

### **Seznam doporučené literatury:**

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3rd edition. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, 1999. 641 s. ISBN 0768004950.

HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Predložená bakalárska práca sa zaoberá modernými zážihovými motormi BMW. Vytvára prehľad o súčasných konštrukčných riešeniach automobilky vyskytujúcich sa v benzínových motoroch. Práca je zameraná na tri hlavné oblasti. Prvá časť popisuje najnovšie a netradičné technológie používané v súčasných zážihových motoroch BMW. Druhá časť je zameraná na konštrukčné riešenia v konkrétnych agregátoch, ich zhodnotenie a prípadné porovnanie so súdobou konkurenciou. V poslednej časti sú popísané hybridné vozidlá a reakcia automobilky na emisné normy s hlavným zameraním na využitie odpadného tepla automobilu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

BMW, moderný zážihový motor, preplňovanie, turbodúchadlo, hybridné vozidlá, vodíkový pohon, technológie, Twin-Scroll, Valvetronic, Vanos, Double-Vanos, emisie, Štart/Stop, Turbosteamer, HPI, TEG, rekuperácia

## ABSTRACT

The Bachelor's thesis deals with modern BMW spark-ignition engines. It provides an overview of current automotive design solutions in gasoline engines. The work is focused on three main areas. The first part describes the latest and unconventional technologies used in current BMW spark-ignition engines. The second part is focused on design solutions in specific aggregates, their evaluation or comparison with contemporary competition. The last part describes the hybrid vehicles and the car manufacturer's response to emission standards with focus on the waste heat of a car.

## KEYWORDS

BMW, spark ignition engine, supercharging, turbocharger, hybrid vehicles, hydrogen powertrain, Twin-Scroll, Valvetronic, Vanos, Double-Vanos, emission, Start/Stop, Turbosteamer, HPI, TEG, recuperation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Šroba, R. *Moderní zážehové motory značky BMW*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 68 s. Vedoucí diplomové práce Radim Dundálek.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prehlasujem, že tato práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením pána Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Jméno a přímení

## POĎAKOVANIE

Chcel by som týmto poďakovať pánovi Ing. Radimovi Dundálkovi, Ph.D. za usmernenie pri vypracovávaní danej témy a pohotové reakcie na dotazy. Taktiež chcem poďakovať personálu spoločnosti Renocar Brno a známym mechanikom za cenné odpovede a ochotu pomôcť.

## OBSAH

Úvod .....	9
1 Technológie zážihových motorov BMW .....	10
1.1 Vstrekovanie benzínu HPI .....	10
1.2 Valvetronic.....	13
1.3 Vanos a Double-Vanos .....	16
1.4 Elektronicky riadená škrtiacia klapka .....	19
1.5 Riadiaca jednotka DME.....	21
1.6 Twin-Scroll turbo.....	21
1.7 Vstrekovanie vody do sacieho potrubia (Water-Injection system).....	22
2 Kódové značenie motorov .....	25
3 Sériovo vyrábané zážihové motory .....	27
3.1 Radové 3-valcové motory .....	27
3.2 Radové 4-valcové motory .....	29
3.3 Radové 6-valcové motory .....	32
3.4 Vidlicové 8-valcové motory .....	38
3.5 Vidlicové 10-valcové motory .....	40
3.6 Vidlicové 12-valcové motory .....	42
4 Hybridné a vodíkové agregáty BMW .....	46
4.1 Vodíkový pohon .....	46
4.2 BMW I3 a I8 .....	48
4.3 BMW ActiveHybrid X6.....	49
4.4 BMW ActiveHybrid 7 .....	51
5 Spôsoby znižovania emisií a spotreby .....	54
5.1 Využitie Odpadového tepla .....	54
5.2 Funkcia Štart/Stop.....	59
5.3 Rekuperácia brzdovej energie.....	59
6 Budúcnosť BMW .....	60
Záver.....	62

## ÚVOD

V dnešnej dobe sa kladie veľmi veľký dôraz na čistotu životného prostredia. Výnimkou nie je ani automobilový priemysel, ktorý je jeden z najväčších producentov skleníkových a škodlivých emisných plynov. Energetické problémy spojené s nadmernou ťažbou ropy nútia automobilové spoločnosti sa zamýšľať nad efektívnejším využitím tejto kvapaliny, či použitím alternatívnych riešení pohonu automobilov. Medzi najväčších priekopníkov, či už v oblasti vývoja pohonných jednotiek, alebo neustálym zdokonaľovaním automobilu ako celku patrí nemecká automobilka BMW. O tom svedčí aj najväčšie množstvo získaných ocenení spomedzi všetkých svetových výrobcov automobilov v najprestížnejšej medzinárodnej súťaži o motor roku „International Engine of the Year“. Pre zaujímavosť, bavorská automobilka dosiahla od vzniku súťaže 60 víťazstiev naprieč všetkými objemovými kategóriami, s takmer polovičným nárastom pred konkurenciou. Medzi najúspešnejšie patrili a stále patria práve benzínové agregáty, ktorým som sa rozhodol venovať vo svojej bakalárskej práci.

Práve automobily, ktoré majú pod kapotou zážihový motor sú najobľúbenejšou verziou automobilových nadšencov, ktorým vonia benzín. Neustále kladený dôraz na znižovanie spotreby sa prejavuje aj v neustálom zdokonaľovaní týchto motorov. So spotrebou benzínu je spojený aj výrazný ústup atmosférických motorov, ktoré sú postupne nahradzované preplňovanými verziami s nižším objemom. Automobilka BMW bola ako jedna z posledných automobilových značiek, ktoré prešli k benzínovým turbomotorom a dnes už ani pod kapotou BMW nenájdeme jediný motor plnený atmosférickým tlakom. Preplňovanie motorov je nepochybne ďalší krok vpred ako dostať z vozidla vyšší výkon, avšak BMW bolo doteraz označované ako výrobca tých najdokonalejších atmosférických motorov vôbec. Avšak jej turbomotory oproti konkurencii nijak extra nevynikajú, čo je samozrejme spojené s väčšinou rovnakými dodávateľmi turbodúchadiel pre všetky automobilky.

Budúcnosť automobilky je so súčasným trendom elektrických pohonov nie príliš ružová, v prípade ďalšieho používania benzínových motorov. BMW to však nevzdáva a neustále pokračuje vo vývoji spaľovacích agregátov a v ich neustálom zdokonaľovaní. Automobilka v blízkej budúcnosti zatiaľ však neplánuje vyradiť benzínové motory zo svojho zoznamu, čo je dobrá správa. Skôr sa uberať smerom hybridných pohonov, kde je benzínový motor v kombinácii s tým elektrickým prijateľnejším riešením ako jeho vylúčenie.

V predloženej práci som niektoré postrehy a závery vyvodzoval z vlastných skúseností, či vedomostí. Tie som nadobudol počas posledných rokov, a preto nemusia byť všetky vyhodnotenia úplne korektné. Moja osobná motivácia bola úzko spojená so sympatiami k značke BMW. Osobným cieľom bolo sa o jej motoroch dozvedieť viac a taktiež preukázať rešeršné schopnosti k tejto téme.

# 1 TECHNOLÓGIE ZÁŽIHOVÝCH MOTOROV BMW

Automobilka BMW neustále zdokonaľuje pohonné jednotky automobilov s cieľom zvýšiť dynamický potenciál a súčasne znížiť spotrebu paliva. Tieto požiadavky, ktoré sú v podstate protichodné, sa darí dosahovať hlavne technológiami z programu BMW EfficientDynamics. Práve to je dôvodom prečo značka BMW neustále modernizuje pohonné jednotky vo svojich modeloch.

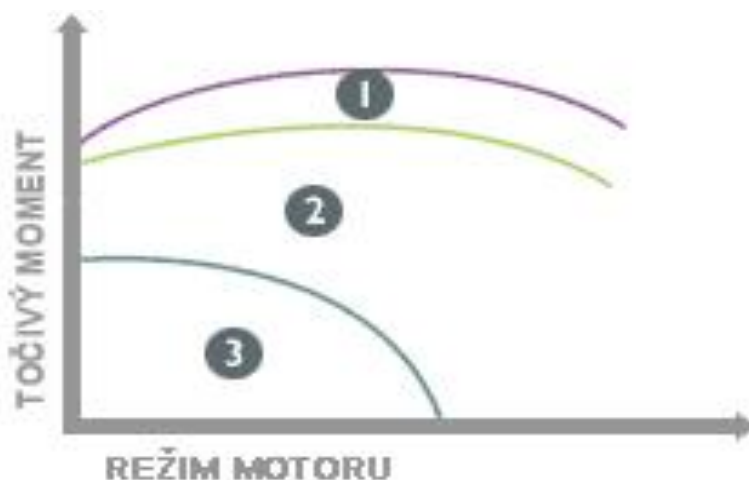
## 1.1 VSTREKOVANIE BENZÍNU HPI

Systém HPI sa prvý krát objavil vo vozidle BMW 335i v roku 2006. Vysokotlaké priame vstrekovanie je používané u všetkých novších zážihových motorov BMW. Vstrekuje palivo priamo do spaľovacieho priestoru pod tlakom 20 MPa. Piezo-elektrické vstrekovacie sú umiestnené v strede spaľovacieho priestoru v tesnej blízkosti zapaľovacej sviečky. Motory vybavené priamym vstrekaním HPI sú mimoriadne úsporné a to vďaka faktu, že tieto motory sú schopné pracovať s tzv. chudobnou vrstevnou zmesou v omnoho širšom spektre otáčok a zaťažení ako je obvyklé. To je spôsobené nielen vysokým pracovným tlakom, ale tiež veľmi presným dávkovaním. [1]

HPI prináša úsporu paliva v závislosti na spôsobe premávky až vo výške 20 %, takže sa významne podieľa na prínose stratégie BMW EfficientDynamics, ktorá si za cieľ kladie hlavne zvyšovanie účinnosti automobilu ako celku. Motory zo vstrekaním HPI sú okrem katalyzátoru vybavené ďalším zádržným katalyzátorom oxidu dusíku. [2]

Princíp práce s chudobnou vrstevnou zmesou spočíva v tom, že pomer paliva a vzduchu nie je v celom objeme spaľovacieho priestoru rovnaký, ale stechiometrický pomer potrebný pre zážih je dosiahnutý iba v tesnej blízkosti zapaľovacej sviečky. Spolu so vzdialenosťou od nej postupne po vrstvách klesá podiel paliva v zápalnej zmesi. K zážihu preto dochádza najskôr v blízkosti zapaľovacej sviečky a zmes s menším obsahom paliva sa zapáli postupne od už zapáleného paliva. [3]

Motor HPI je schopný kombinovať funkčné režimy v závislosti na požadovanom krútiacom momente. [3]



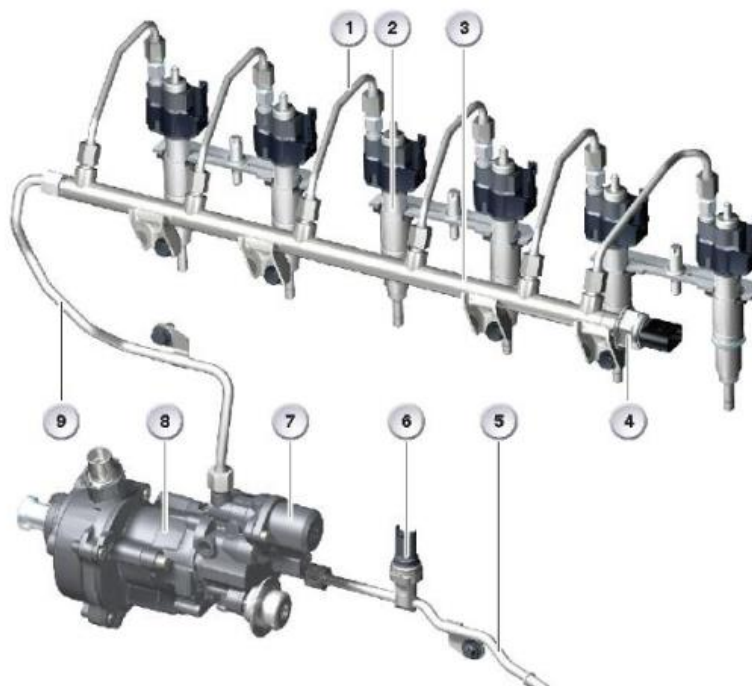
Obrázok 1: Funkčné režimy HPI [3]

1. Režim s bohatou zmesou je režim s maximálnym krútiacim momentom. Tento režim je vhodný pri maximálnom využití motora kedy je požadovaná vysoká hodnota krútiaceho momentu a výkonu ako napríklad pri predbiehaní. Pomer vzduchu ku benzínu je 15 gramov vzduchu na 1 gram paliva. [3]

2. Režim homogénnej zmesi je režim s odpovedajúcim charakterom jazdy ako je zrýchlenie na diaľnici. Palivo je vo valci rozprášené tak, aby vznikla homogénna zmes. Kvalita homogénnej zmesi je vo všetkých miestach spaľovacej komory rovnaká. [3]

3. Režim nerovnomerne rozptýlenej zmesi vhodný v mestskej premávke. Jeho cieľom je sústrediť zápalnú zmes vzduchu a paliva do tesnej blízkosti zapaľovacej sviečky a zbytok spaľovacej komory vyplniť vzduchom. K dosiahnutiu tohto efektu je využívaný práve priamy vstrek paliva prostredníctvom trysky umiestnenej priamo v spaľovacej komore, vstrekovanie paliva musí byť presné a v každom okamihu prispôbené chodu motora. [3]

Medzi výhody režimu s nerovnomerným rozptýlením zmesi teda okrem spomínanej lepšej spotreby paliva patrí aj značné obmedzenie strát energie pri plnení vďaka využívaniu pretlaku vzduchu.



Obrázok 2: Systém vstrekovania HPI [4]

Palivo je dodávané z palivovej nádrže elektricky poháňaným palivovým čerpadlom (5) pod tlakom 5 barov cez prírodné potrubie do vysokotlakového čerpadla. Napájací tlak je monitorovaný pomocou snímača nízkeho tlaku (6). Palivo je ďalej stlačené v trvalo poháňanom vysokotlakovom čerpadle (8) a vysokotlakovým potrubím (9) dopravené k potrubiu common rail (3). Pod tlakom v zbernom potrubí common rail pokračuje palivo cez vysokotlakové potrubie (1) do piezoelektrických vstrekočov (2). Potrebný tlak pre dodávku paliva je určovaný pomocou riadiacej jednotky motora, ktorá ho nastaví v závislosti na zaťažení a otáčkach motora. Dosiadnutá úroveň tlaku sa zaznamenáva vysokotlakovým čidlom (4) a komunikuje s riadiacou jednotkou. Regulovanie tlaku sa uskutočňuje pomocou

regulačného ventilu (7) a nastavuje sa zo zameraním na dosiahnutie čo najnižšej možnej spotreby. [4]

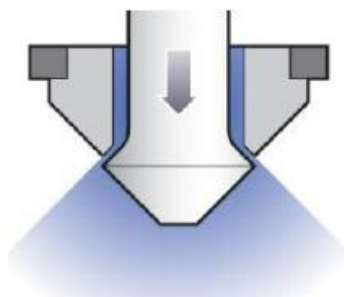
### 1.1.1 PIEZOELEKTRICKÝ VSTREKOVAC

Piezo-elektrické vstrekovanie zvyšuje výkon benzínových motorov s priamym vstrekovaním a umožňuje úsporu paliva až 20 %. Piezo-technológia od firmy Siemens VDO s priamym vstrekovaním benzínu bola prvýkrát predstavená v motore BMW na Ženevskej výstave v roku 2006 a rok na to sa systém dostal do sériovej výroby. [5]



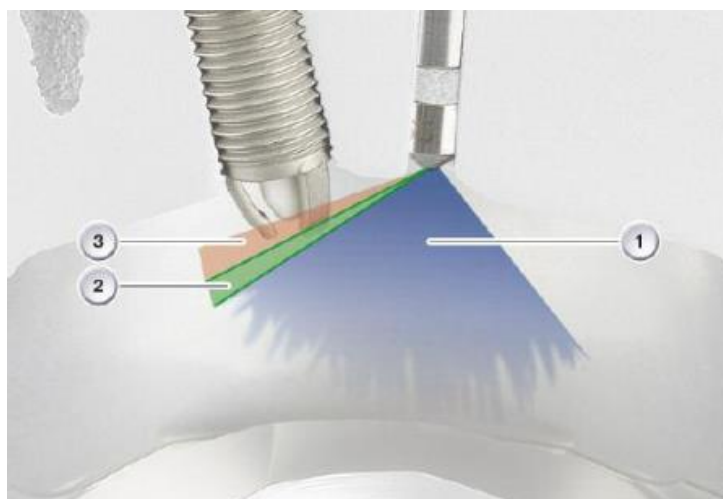
Obrázok 3: Piezoelektrický vstrekovač: 1. Ihla vstrekovacej trysky, 2. Piezoelektrický prvok, 3. Tepelný kompenzátor [4]

Hlavnou prednosťou piezoelektrických vstrekovačov je krátka doba ich aktivácie okolo 0,1 ms. Piezovstrekovače umožňujú vybrať si ľubovoľný počiatok vstrekovania a veľkosť dávky paliva, ako aj prevedenie viacnásobného vstrekovania. Piezoelektrické vstrekovače oproti konvenčným elektromagnetickým sú schopné presnejšieho dávkovania množstva vstrekovaného paliva do valca. Behom jedného cyklu sú schopné dodať až šesť dávok jemne rozprášaného paliva, vstrekovaného v presne ohraňovanom kuželi. Vďaka rýchlemu prepínaniu vstrekovača je možné dosiahnuť pružnejšieho priebehu vstrekovania. V systémoch vybavených piezoelektrickými vstrekovačmi sa tlak paliva zvyšuje a môže dosiahnuť až 200 barov. [6]



Obrázok 4: Ihla trysky Piezoelektrického vstrekovača [4]

Ihla trysky je vytiahnutá von z jej kužeľového sedla ventilu ako je vidieť na Obrázok 4. Palivo je rozprášené cez prstencový otvor a vytvára dutý kužeľ, ktorého uhol nie je závislý na protitlaku v spaľovacej komore. [4]

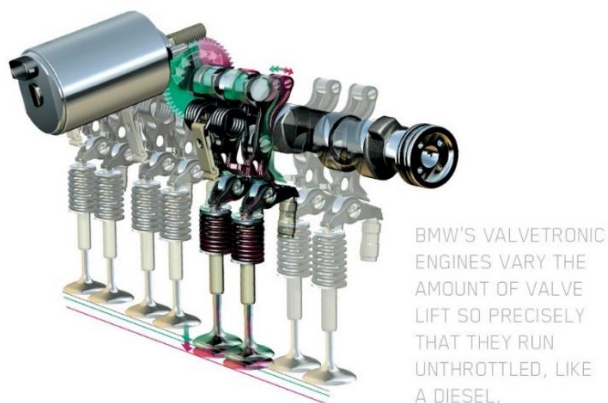


Obrázok 5: Kužeľ vstreknutého paliva [4]

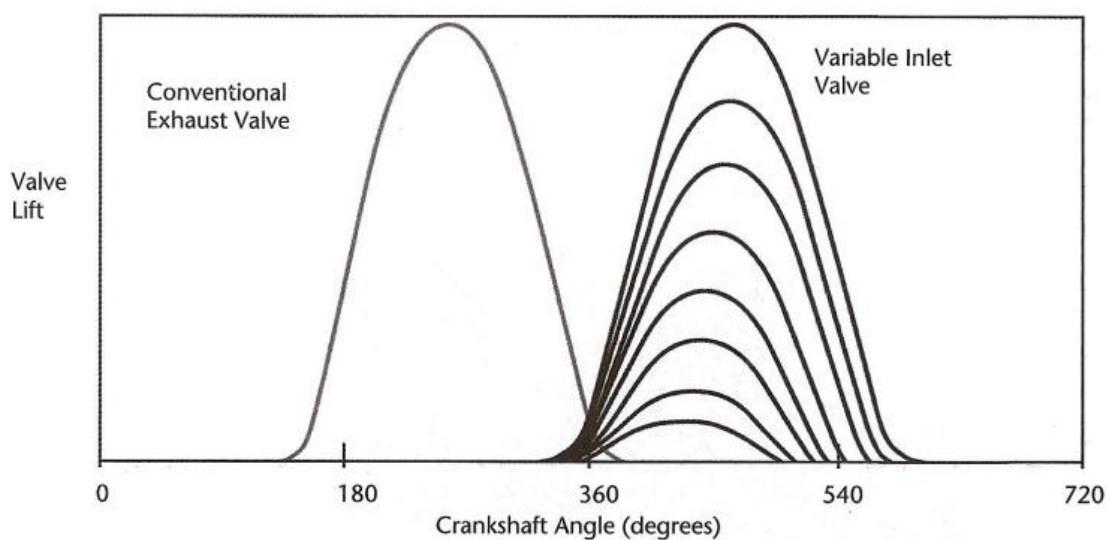
Kužeľ vytvorený rozprášením paliva (1) sa môže počas prevádzky odchyliť (2). Vzhľadom na umiestnenie sadze v motore je takéto odklonenie ešte v norme. Ak však rozptýlenie paliva prekročí túto oblasť (3), v ktorej dochádza k postriekaniu zapaľovacej sviečky, môže viesť k jej poškodeniu. [4]

## 1.2 VALVETRONIC

Premenlivý zdvih ventilov sa prvý krát objavil v roku 2001 v zážihovom motore značky BMW rady 3 pod označením motora N42B18 s názvom Valvetronic. Spotreba paliva sa vďaka technológii Valvetronic znížila o 12 %. [7] Zdvih sacieho ventilu sa môže meniť v rozsahu od 0.7 mm – do 12.5 mm. Zmena nastavenia medzi minimálnym a maximálnym zdvihom trvá do 300 milisekúnd. Keďže sací ventil môže byť nezávisle optimalizovaný, to vedie k zvýšeniu maximálneho výkonu a výkonnostnej krivky. Valvetronic je teda kombinácia systému Double Vanos, ktorá mení polohu vačkového hriadeľa voči kľukovému hriadeľu až o 60° a elektromechanického zariadenia meniaceho plynule zdvih sacích ventilov. [8]

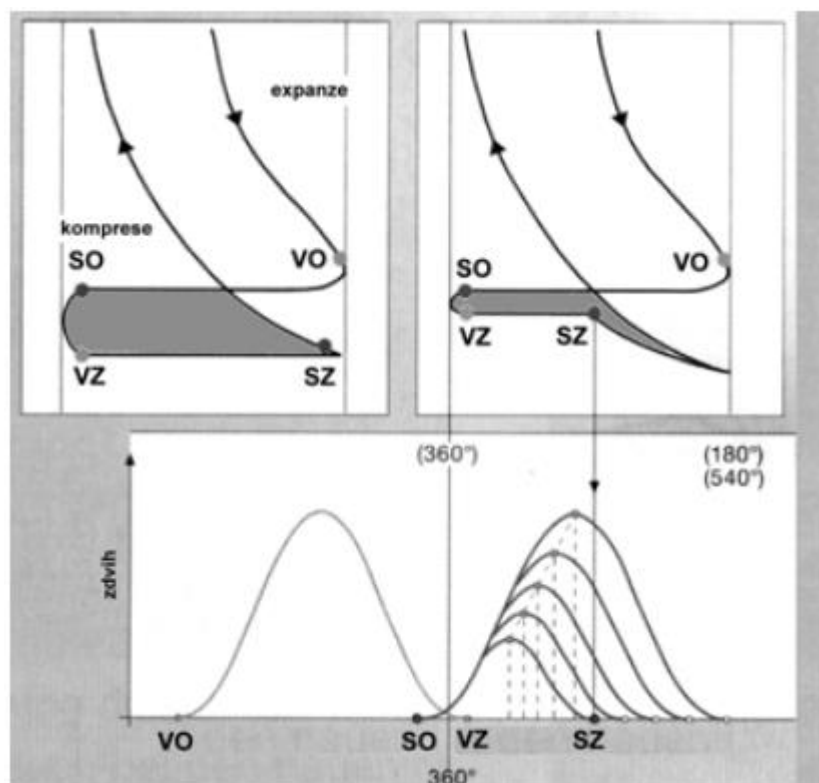


Obrázok 6: Valvetronic [8]

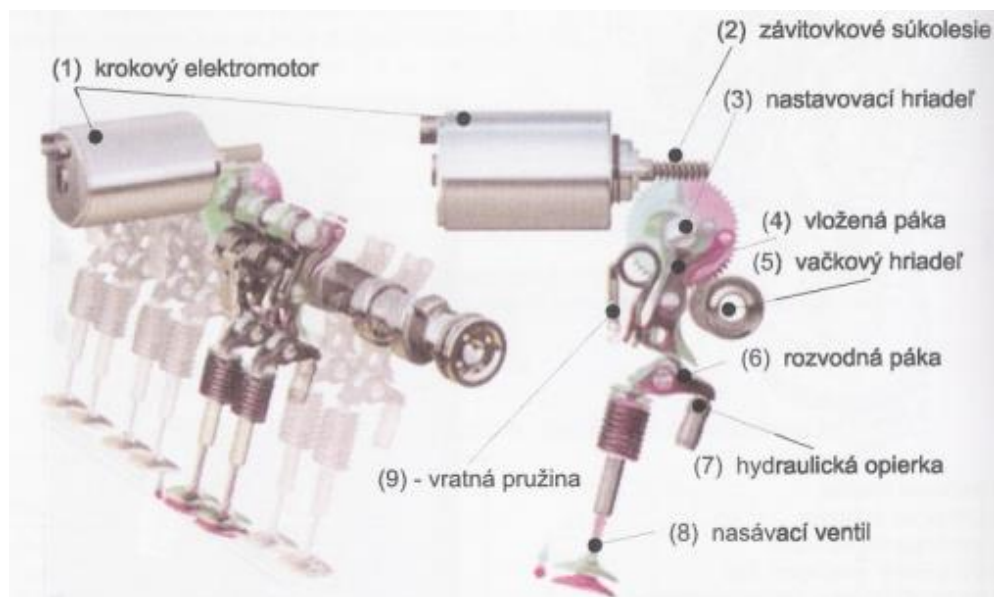


Obrázok 7: Zmena zdvihu, doby trvania a fázovania sacieho ventilu [7]

Premenlivý zdvih ventilov umožňuje úplne nahradiť škrtiacu klapku. Motory so systémom Valvetronic majú škrtiacu klapku iba pre núdzový režim, inak je klapka stále otvorená. Nahradením klapky sú odstránené straty vznikajúce turbulentným prúdením vzduchu škrtiacej klapky. [9] Množstvo zmesi, ktorá sa dostáva do valcov určuje veľkosť zdvihu sacích ventilov. Na Obrázok 8 je vidieť na p-V diagrame sivo vyfarbenými plochami prácu potrebnú na nasatie príslušného množstva čerstvej zmesi. Vľavo je vyobrazený priebeh tlaku vo valci s použitím klasickej škrtiacej klapky a vpravo s použitím systému Valvetronic. [10]



Obrázok 8: P-V diagram -škrtiaca klapka (vľavo), Valvetronic (vpravo) [10]



Obrázok 9: Jednotlivé súčasti systému Valvetronic [9]

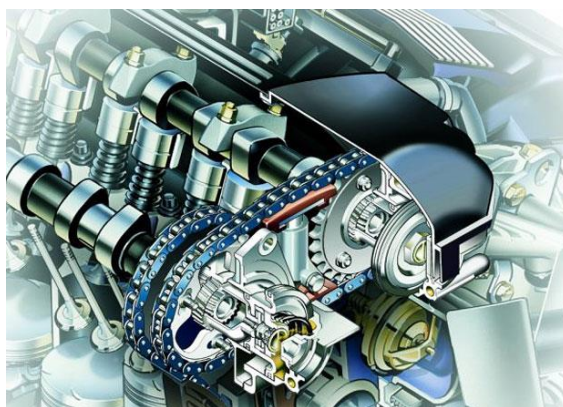
Krokový elektromotor natáča excentrický hriadeľ, ktorý určuje polohu oporného bodu vlozenej páky. Zmenou tejto polohy je určený výsledný zdvih ventilu. Vložená páka je pritlačovaná vratnou pružinou k vačkovému hriadeľu, ktorý riadi priebeh zdvihu ventilu. Koncová časť vlozenej páky cez jednostranne uloženú rozvodnú páku riadi otváranie a zatváranie ventilov. Vymedzenie vôle ventilov zase zabezpečuje hydraulická opierka. [10]

Tento spôsob ovládania rozvodu je veľmi náročný na presnosť výroby. Všetky diely rozvodu sú teda vyrábané s veľkou presnosťou. Odchýlka otvorenia zdvihu ventilu môže činiť iba  $\pm 10\%$ . Preto sú medzivahadlo a vahadlo rozdelené do 4 klasifikačných tried. Označenie triedy je na dieloch vypálené laserom. Minimálny zdvih je vo výrobe meraný a poprípade dvojica medzivahadla a vahadla je nahradená inou klasifikačnou triedou. Vačkový a excentrický hriadeľ je vedený v špeciálnom lôžku, na ktorom je zachytený aj elektromotor zaisťujúci nastavovanie natočenia excentrického hriadeľa. Toto lôžko je párované s hlavou motora a z dôvodu zachovania presnosti nesmú byť jednotlivito vymieňané. [8]

Prínos tejto technológie je nie len v znížení spotreby paliva a emisií výfukových plynov, ale aj v omnoho pokojnejšom chode motora a v rýchlejšej odozve pri zošliapnutí na plynový pedál. Podobné systémy plynulého časovania ventilov pod označením VALVEMATIC používa automobilka Toyota, alebo premenlivého zdvihu a časovania ventilov VVL automobilka Nissan, ale aj mnohé iné, ktorých konštrukčné riešenia sú odlišné, no v princípe majú za úlohu to isté a to znížiť spotrebu paliva a zlepšiť priebeh výkonu motora. Systém Valvetronic sa však javí ako jeden z tých najúčinnějších a konštrukčne tých jednoduchších riešení. Najčastejšie problém, ktorá nastáva je zlyhanie krokového motora vplyvom časového opotrebovania. Ako ďalšia nevýhoda sa javí nie najlepší prístup pri jeho prípadnej oprave, ktorá je vďaka prepracovanosti systému aj zložitejšia.

### 1.3 VANOS A DOUBLE-VANOS

Premenlivé časovanie ventilov označované Vanos (VARIABLE NOckenwellenSteuerung) v motoroch automobilky BMW sa používa k dosiahnutiu lepších parametrov motora. Vďaka nemu dosahujú motory vyšší výkon a nižšiu spotrebu. Automobilka BMW toto zariadenie predstavila už v roku 1992 v motore M50. [11]

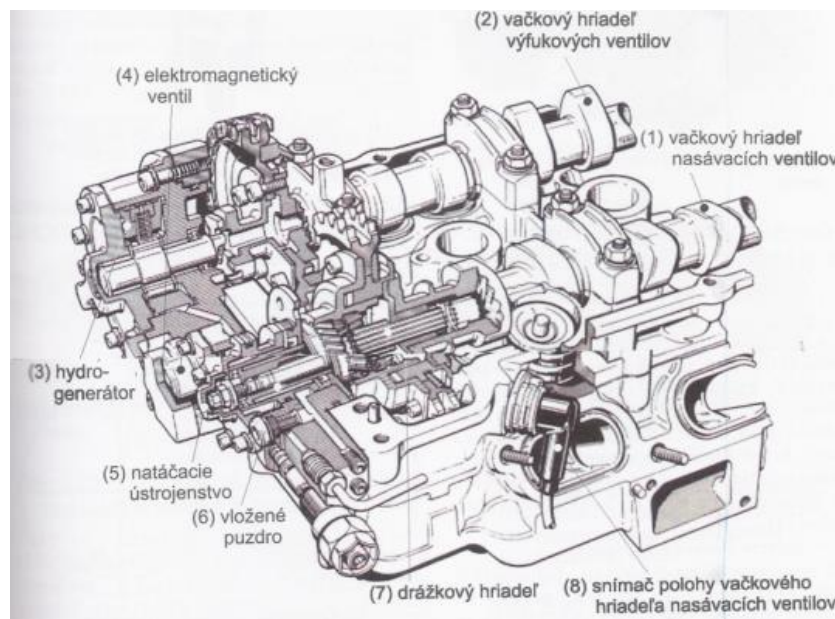


Obrázok 10: Systém Vanos [12]

Variabilné rozvody zdokonaľujú výmenu náplne valcov piestového spaľovacieho motora. Pomocou premenlivého časovania je motor schopný docieľiť lepších vlastností, či už sa jedná o vysoký výkon, vyšší krútiaci moment v širšom spektre otáčok, nižšia spotreba paliva alebo aj nižšie emisie výfukových plynov. [13]

Premenlivé časovanie je častejšie využívané v benzínových motoroch, pretože tie pracujú so širším spektrom otáčok. Systém Vanos na základe údajov získaných z počtu otáčok motora, polohy plynového pedálu a polôh škrtiacich klapiek natáča vačky sacích ventilov, čím posúva

časovanie až o  $42^\circ$  voči kľukovému hriadeľu. O riadenie tohto procesu sa stará riadiaca jednotka motora Bosch Motronic. [9]

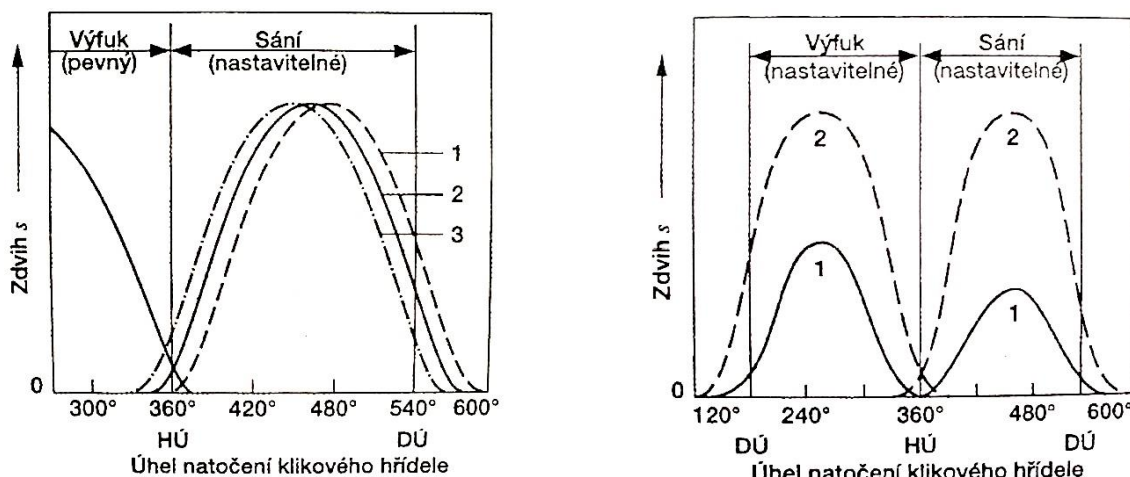


Obrázok 11: Hydraulicko-mechanická časť sústavy BMW VANOS [9]

### 1.3.1 TEÓRIA PREMENLIVÉHO ČASOVANIA VENTILOV

Klasické rozvodové mechanizmy s rovnakým zdvihom a konštantným časovaním ventilov (otváranie a zatváranie je nemenné a závislé na pohybu piestu) sú vždy určitým kompromisom, ktorý plne vyhovuje iba v úzkom rozmedzí otáčok motora. Spaľovací motor však dokáže pracovať so širokým spektrom otáčok. [14]

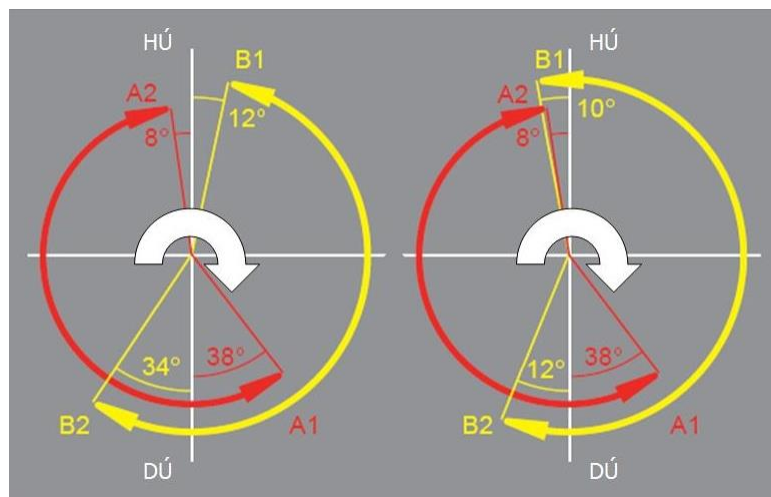
Okamih uzatvorenia sacieho ventilu ovplyvňuje kvalitu naplnenia valca v závislosti na otáčkach motora. Sací ventil je uzatváraný až za dolnú úvraťou piestu po sacom zdvihu, vďaka zotrvačnosti stĺpca čerstvej zmesi sa preto dosiahne prídavného plnenia valca. Plnenie je tým väčšie, čím rýchlejšie zmes prúdi a teda čím sú otáčky motora vyššie. Naopak pri nižších otáčkach je výhodnejšie skoršie uzatvorenie ventilu, aby nedochádzalo k vytlačovaniu zmesi späť do sacieho potrubia. Premenné časovanie ventilov sa teda mení podľa aktuálnych podmienok chodu motora. Natočením vačkového hriadeľa sacích ventilov sa dá posúvať fáza sania a teda prekrytia ventilov (strih). Zdvih a doba otvorenia ventilov zostáva rovnaká. V systéme VANOS zostáva hriadeľ výfukových ventilov v rovnakej polohe vid' Obrázok 12. [14]



Obrázok 12: Zmena časovania (vľavo), Zmena zdvihu (vpravo) [14]

### 1.3.2 NASTAVENIE VENTILOV

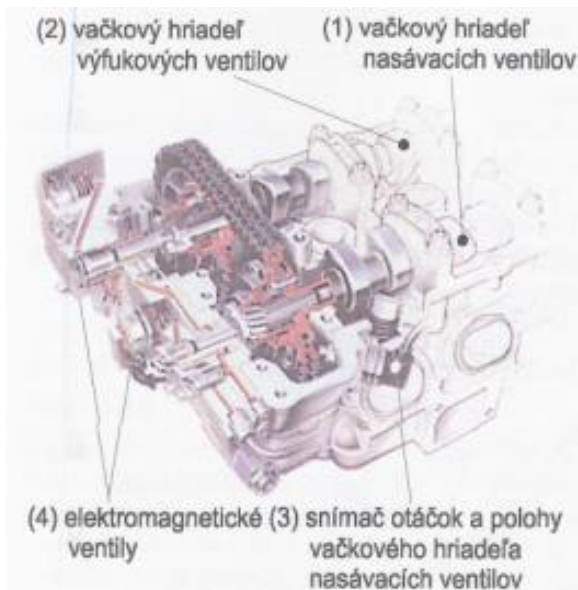
Nastavenie vačkového hriadeľa sa mení podľa predom definovaných vzťahov záťaže a otáčok. Pri voľnobehu a pri vysokých otáčkach je vačkový hriadeľ sacích ventilov nastavený tak, že sacie ventily uzatvára neskôr. To znamená, že nedochádza k strihu ventilov (prekrývanie sacích a výfukových ventilov), čím sa zlepšuje chod motoru pri voľnobežných otáčkach a pri vysokých otáčkach je dosiahnutý vyšší výkon. Naopak pri nízkych a stredných otáčkach je vačkový hriadeľ nastavený tak, že zatvára sací ventil skôr, čím dôjde k miernemu prekrytiu sacích a výfukových ventilov. Z výsledku je vidieť zlepšenie krútiaceho momentu. [14]



Obrázok 13: Sací ventil sa uzatvára neskôr (vľavo), Sací ventil sa uzatvára skôr (vpravo); A1, A2 je otvorenie a zatvorenie výfukového ventilu a B1, B2 je otvorenie a zatvorenie sacieho ventilu [14]

### 1.3.3 DOUBLE-VANOS

V roku 1997 prišla automobilka s vylepšením tohto systému s názvom Double-Vanos, ktorý ovláda aj vačkový hriadeľ výfukových ventilov. To umožňuje ešte lepšiu reguláciu časovania ventilového rozvodu. [11] Tento systém bol vyvinutý v spolupráci s firmou Siemens. Oproti systému Vanos má väčší rozsah nastavenia vačkového hriadeľa nasávacích ventilov (30° oproti 21° a teda 60° proti 42° natočenia klikového hriadeľa). [9]



Obrázok 14: BMW Double-Vanos [9]

Double-Vanos tiež riadi množstvo výfukových plynov, ktoré sú recirkulované späť do sacieho potrubia, čo zlepšuje celkovú spotrebu paliva a znižuje množstvo vzniknutých emisií pri spaľovaní. Tento systém používa špeciálnu sadu parametrov vo fáze zahrievania motora za účelom pomôcť katalyzátoru rýchlejšie dosiahnuť ideálnej prevádzkovej teploty, čo vedie k zníženiu emisií. Celý proces je riadený riadiacou jednotkou DME (Digital motor electronics). [9], [11]



Obrázok 15: BMW Double-Vanos [14]

Vačky sú vybavené elektro-hydraulickým mechanizmom umožňujúcim pootáčanie vačky z jej základnej polohy podľa potrieb riadiacej jednotky. Staršie varianty tohto systému pracovali dvoj-polohovo a dnešné už majú plynulú reguláciu. [14]

#### 1.4 ELEKTRONICKY RIADENÁ ŠKRTRIACA KLAPKA

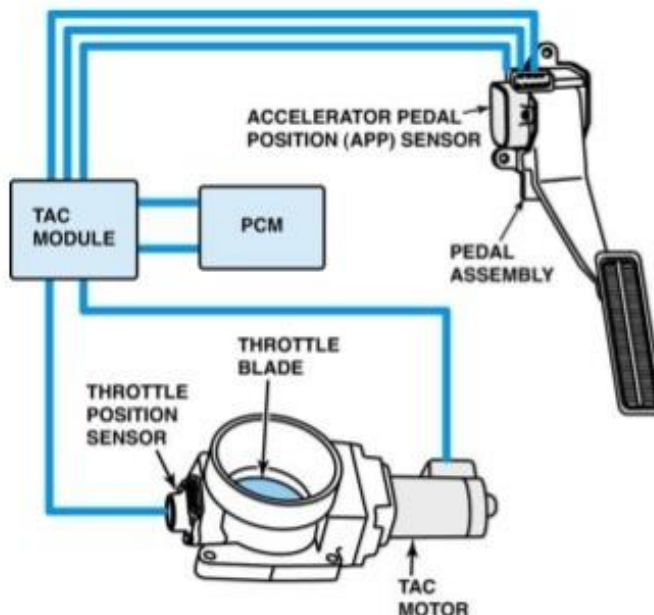
Automobilka BMW bola ako prvá, ktorá uviedla tento systém na trh. Systém ETC zaisťuje veľmi presné riadenie výkonu motora tak, že premieňa pohyb plynového pedálu na digitálny signál, ktorý je odoslaný do riadiacej jednotky motora. Vo výsledku je stabilnejší a hladší chod motora, vyšší výkon, nižšie emisie a menšia spotreba paliva. ETC nahrádza mechanické spojenie plynového pedálu so škrtiacou klapkou elektronickým signálom. Tento systém vysielá digitálne informácie o polohe plynového pedálu k centrálnej riadiacej jednotke motora. Pozícia každej z jednotlivých motýľích klapiek sa potom upraví pomocou malého elektromotora. [15]



Obrázok 16: Elektronicky ovládaná škrtiaca klapka [15]

Systém je schopný naplno otvoriť klapku iba za 120 milisekúnd, čo je čas skúseného vodiča potrebný na úplne stlačenie plynového pedálu. To umožňuje vodičovi využívať výkon motora s vyššou presnosťou rýchlejšou a plynulejšou odozvou na plynový pedál predovšetkým v nízkych otáčkach, ako je u konvenčnej škrtiacej klapke. Ďalším dôležitým bodom je, že ETC zlepšuje bezpečnosť jazdy vďaka automatickej zmene programu v prípade nebezpečného mechanického poškodenia ako napríklad mimovoľné maximálne zaťaženie motýľích klapiek. Okrem toho môže vodič po stlačení tlačidla aktivovať športový mód, čím sa klapka prispôbi za dosiahnutím najvyššieho možného výkonu. V niektorých modeloch je používaná iba ako záložný systém, pretože je plne nahradená variabilným časovaním ventilov. [15]

## ELECTRONIC THROTTLE CONTROL



Obrázok 17: Schéma prepojenia klapky a plynového pedálu (APP) určuje pozíciu plynového pedálu spojená s (TAC), čo je ovládacia jednotka škrtiacej klapky, ktorá je prepojená s (PCM) riadiacou jednotkou motora. (TAC MOTOR) je elektromotor, ktorý ovláda otváranie klapky a (TPS) je senzor polohy škrtiacej klapky [16]

## 1.5 RIADIACA JEDNOTKA DME

Digital motor electronics je komplexný systém správy motoru riadiaci všetky kľúčové aspekty fungovania motora, čo zaisťuje optimálnu spoľahlivosť, maximálny výkon a najnižšiu možnú spotrebu paliva, tým pádom aj nižšie množstvo vzniknutých emisií. [17]



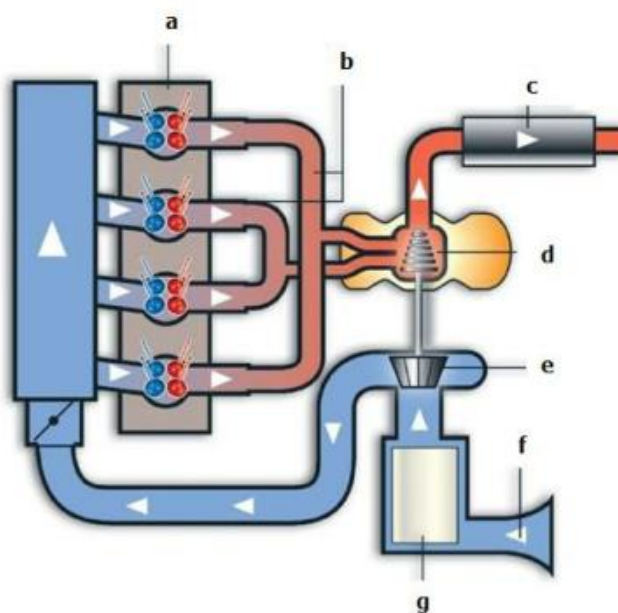
Obrázok 18: Riadiaca jednotka Digital motor electronic

Jednotka priebežne sníma pomocou senzorov všetky faktory, ktoré ovplyvňujú chod motora. Zachytené dáta sú vyhodnocované mikroprocesorom a pomocou príkazov sú ovládané systémy vstrekovania a zapalovania paliva. DME jednotka dostáva viac ako 1000 položiek dát za sekundu, ako sú rýchlosť motora, množstvo nasávaného vzduchu, teplotu a hustotu vzduchu, teplotu chladiacej kvapaliny, polohu škrtiacej klapky, polohu plynového pedálu a rýchlosť vozidla. [17]

DME overí všetky prichádzajúce dáta porovnaním so zvyškom systému. Ak chybný snímač dodáva nereálne údaje, DME ich nahradí prednastavenými štandardnými hodnotami. Ak zapalovacia sviečka zlyhá, DME okamžite vypne prívod paliva do tohto valca aby sa zabránilo poškodeniu motora. Jednotka DME sa rovnako stará a kontroluje elektrický systém vozidla senzormi, ktoré merajú náboj stav batérie, ako aj aktuálnu spotrebu elektrickej energie. Tým, že udržiava optimálnu úroveň nabitia batérie, zabraňuje poškodeniu a zabezpečuje jej maximálnu životnosť. Motor je tak vždy schopný hladkého štartu. [17]

## 1.6 TWIN-SCROLL TURBO

Turbodúchadlo Twin-Scroll funguje na rovnakom princípe ako klasické konvenčné turbodúchadlo, s tým rozdielom že turbínová časť je rozdelená na dve časti, má teda dva kanál pre prívod výfukových plynov. Ku každému z týchto kanálov vedú výfukové zvody tak, aby podtlak vo chvíli keď sa výfukový ventil jedného valca ešte nezavrel, ale jeho sací ventil už sa otvára, neuberal energiu výfukovým plynom, ktoré akurát začínajú vychádzať z iného valca.



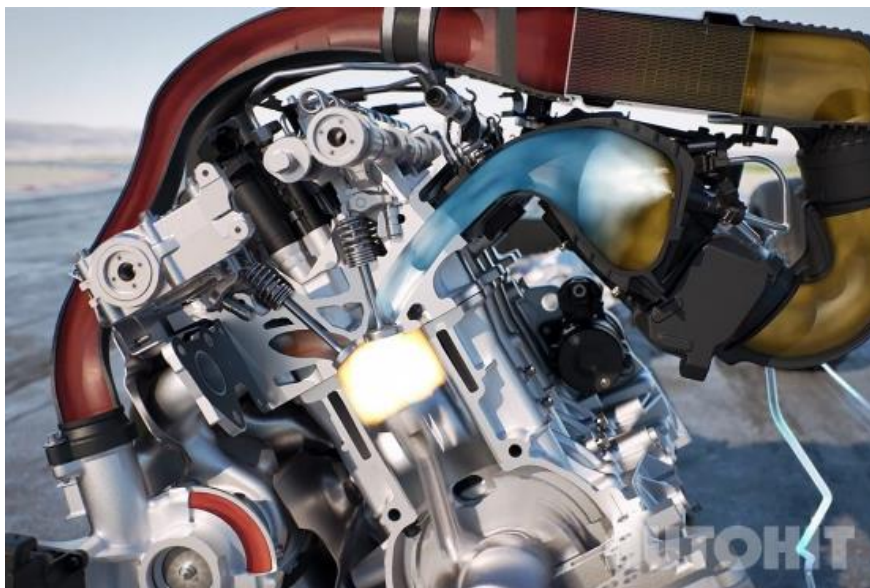
Obrázok 19: Scéma Turbodúchadla Twinscroll v motore; a-Hlava valcov, b-Rozdelené výfukové potrubie, c-katalyzátor, d-turbína, e-kompresor, f-sanie, g-vzduchový filter

Ak máme poradie zapalovania u štvorvalcového motora 1-3-4-2, povedú do jedného kanálu zvody z valcov 1 a 4 a do druhého z valcov 2 a 3. To znamená, že vyššie zmieneny problém nenastane, pretože valec číslo 3, ktorý by uberal energiu výfukovým plynom z valca 1, nie je napojený na rovnaké potrubie. Spojenie potrubí nastáva až tesne pred turbínovým kolesom.

Použitie Twin-Scroll turba je teda vďaka menším stratám energií výhodnejšie, pretože viacej energie smeruje na lopatky turbíny, tým pádom sa turbína roztáča rýchlejšie, a to znamená, že na druhej strane turbodúchadla kompresorová časť nasáva viac vzduchu a vytvára väčší tlak. Rôznymi stavbami je možné docieľiť širšieho pásma využiteľných otáčok. Rovnako je možné manipulovať s prekryvaním sacích a výfukových ventilov bez negatívneho efektu na energiu obsiahnutú vo výfukových plynch. Medzi nevýhody patrí určite zložitejšia výroba, tým pádom aj vyššia cena zariadenia.

## 1.7 VSTREKOVANIE VODY DO SACIEHO POTRUBIA (WATER-INJECTION SYSTEM)

Vstrekovanie vody do sacieho potrubia motora sa objavilo už v minulom storočí, kedy sa používalo pre zvýšenie výkonu leteckých motorov za 2. svetovej vojny. V novodobej histórii sa systém využíval napríklad vo vozidlách WRC. Ochladenie nasávaného vzduchu vstreknutím vody je jedna z tradičných metód zvýšenia výkonu, hlavne u vysokovýkonných preplňovaných motorov. V sériovom prevedení sa technológia nepoužíva kvôli veľkému množstvu nedostatkov a hlavne obmedzeniu životnosti agregátu. Automobilka BMW predstavila vstrekovanie vody v safety car pre preteky Moto GP upravením motora vo vozidle BMW M4 GTS. V spolupráci s automobilkou Bosch predstavila veľmi pokročilý systém, ktorý ma za úlohu nielen zvýšiť výkon motora, ale aj znížiť jeho spotrebu. [18], [19]



Obrázok 20: Rez motorom so vstrekaním vody [19]

Preplňované zážihové motory sa pri vysokom zaťažení stretávajú s vysokými teplotami, ktoré potom môžu viesť k samozápalu paliva. Aby sa im predišlo je potrebné preto buď znížiť výkon alebo zlepšiť chladenie. Vstrekovanie vody zaisťuje zníženie teploty priamo v spaľovacom priestore. A dokáže tým znížiť teplotu až o 25 °C. Na základe toho je možné zvýšiť kompresný pomer u motora s kompresnými pomerom 9,5 na 11 ku jednej. [20]

Motor s priamym vstrekaním paliva a malým objemom, ale s vysokou úrovňou preplňovania, ktorá tlačí na limity výkonu je prínos vstrekovania vody v podobe aerosolí výborným spôsobom ako tieto limity prekonať. Vstrekovacím médiom je už skôr používaná zlúčenina MW50, čo je zmes metanolu a vody. Voda, ktorá je vstreknutá pred sacie ventily aktívne ochladzuje vzduch, ktorý bol po stlačení turbodúchadlom ohriaty na vyššiu teplotu. S vyššou teplotou v sacom potrubí pribúdajú nevýhody ako je klepanie motora alebo nižšia hustota vzduchu.



Obrázok 21: Detail rezu motora so vstrekaním vody

Rozprášenie vody v potrubí teda odoberá teplo tým sa prudko ochladí vzduch, ktorý sa dostáva do valcov, čím sa zvýši jeho hustota, čo vo výsledku znamená čistejší spaľovací proces. V nižších otáčkach motora stačí k ochladeniu nasávaného vzduchu medzichladič, preto je tento systém vstrekovania vody účinný hlavne vo vyššom spektre otáčok, kde medzichladič už nie je schopný chladiť také veľké množstvo vzduchu. Ochladením spaľovacieho priestoru sa umožní skoršie zapálenie zmesi paliva a vzduchu, čo vedie v konečnom dôsledku k zvýšeniu výkonu motora. Celkovo sa spaľovací proces uskutočňuje pri lepšej teplote, a teda kontrolovaným spôsobom, čo vedie aj k vyššej účinnosti a dovoľuje motoru vyšší kompresný pomer dosiahnutím, ktorého sa znížia emisie až o 4 %. So súčasným trendom neustáleho sprísňovania emisných noriem je táto technológia ďalším posunom vpred, s cieľom dosiahnuť čo najekologickejšie vozidlo. Cílené používanie vody tiež chráni jednotlivé komponenty vo vnútri pohonnej jednotky. Naplnenie 5 litrovej nádrže postačí na približne 3000 km. Bosch uvádza zvýšenie výkonu použitím tohto systému až o 5 % bez zvýšenia tlaku v sacom potrubí a zároveň o 13 % nižšiu spotrebu paliva, čo sú veľmi dobré výsledky. Pri vysokých otáčkach je možné dosiahnuť spotrebu lepšiu až o 30 %, čo je vhodné hlavne pre športovejšie ladené motory. Pokiaľ by došlo za pochodu auta k vyprázdneniu nádrže, motor pracuje bez rizika poškodenia s tým, že sa dočasne zníži výkon a točivý moment a naopak zvýši spotreba až do kým sa nádržka znova nenaplní. V súčasnosti sa tento systém dostáva pod kapotu automobilov rady 1 do trojvalcového motora B38. [20], [21], [22]

## 2 KÓDOVÉ ZNAČENIE MOTOROV

Označenie motorov sa s časom mierne odlišuje. Popis jednotlivých značiek v kóde motora je vysvetlený na nasledujúcom príklade:

M50B25TU, N52B30O1, B38K15T0

1. Znak v kóde motora predstavuje rodinu motorov značky
  - M**- motory navrhnuté pred rokom 2001
  - N**- motory navrhnuté po roku 2001
  - B**- motory navrhnuté po roku 2013
  - S**- športová rada motorov pre radu M
  - P**- pretekárske motory divízie motoršport
  - W**-motory od externého dodávateľa
  
2. Znak v kóde motora je číslica, ktorá charakterizuje počet valcov motora
  - 3**- radové 3-valcové motory (staršie 6-valcové motory pred r. 1990)
  - 1,2,4**- radové 4-valcové motory
  - 5**- radové 6-valcové motory
  - 6**- vidlicové 8-valcové motory
  - 7**- vidlicové 12-valcové motory
  - 8**- vidlicové 10-valcové motory
  
3. Znak v kóde motora variácia motora
  - Pre motory s prvým znakom **M,N** platí:
    - 0**- originálny dizajn motora
    - 1..9**- zmena originálneho dizajnu motora
  - Pre motory s prvým znakom **B** platí:
    - 6**-Sulev (Super ultra-low emission vehicle)-motor z veľmi nízkou hodnotou emisií
    - 7**-dieselový motor
    - 8**-benzínový motor
  
4. Znak v kóde motora je typ paliva
  - Pre motory s prvým znakom **M,N** platí:
    - B**- benzínový motor
    - D**- dieselový (naftový motor)
    - E**- elektricky poháňaný motor
    - G**- motor na zemný plyn
    - H**- hydrogen (vodíkový motor)
  
  - Pre motory s prvým znakom **B** 4.znak charakterizuje typ paliva a orientáciu motora platí:
    - A**- priečne uložený benzínový motor
    - B**- pozdĺžne uložený benzínový motor
    - C**- priečne uložený dieselový motor
    - D**- pozdĺžne uložený dieselový motor
    - E**- elektricky poháňaný motor
    - G**- motor na zemný plyn
    - H**- vodíkový motor
    - K**- kombinácia benzínového a elektrického motora

5. a 6. Znak v kóde motora vyjadruje objem všetkých valcov motora  
M50B25TU-číslo 25 znamená, že motor má objem 2.5 litra, obdobne platí pre ostatné  
príklady: N52B30O1 má objem 3.0 litra  
a B38K15T0 1.5 litra.
7. Znak označuje výkonnostnú triedu motora
- S**- najvyššia trieda
  - T**-vyššia trieda
  - O**- stredná vyššia trieda
  - M**- stredná trieda
  - U**- nižšia trieda
  - K**- najnižšia trieda
  - 0**- nový vývoj
8. Znak charakterizuje technickú aktualizáciu u modelov s prvým znakom **M**  
je označovaná písmenom a u modelov **N, B** číslom od 0 do 9.  
Pr. M52->M52TU prechod zo systému SINGLE VANOS na systém DOUBLE VANOS [23]

### 3 SÉRIOVO VYRÁBANÉ ZÁŽIHOVÉ MOTORY

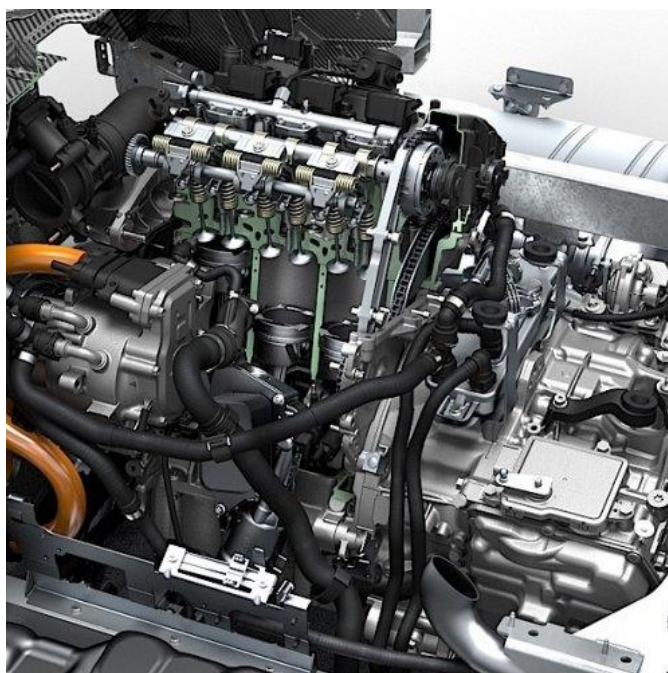
#### 3.1 RADOVÉ 3-VALCOVÉ MOTORY

V roku 2015 získal cenu IEOTY (International Engine of The Year), teda sa stal motorom roku 1,5 litrový trojvalcový TwinPower Turbo v plug-in hybridnej sústave ekologického super športu BMW i8 s označením BMW B38K15. Motor s označením B38 je jediný trojvalcový benzínový reprezentant značky BMW a doposiaľ sú používané 4 varianty, ktoré sú zobrazené v nasledovnej Tabuľke 1.

Tabuľka 1: Súčasné varianty motora B38 [24]

Označenie	Objem [cm <sup>3</sup> ]	Vrtanie [mm]	Zdvih [mm]	Výkon [kW]	Krútiaci moment [Nm]	Rok	Kompresný pomer
B38A12U0	1198	78	83,6	55	150	2014-	11:1
	1198	78	83,6	75	180	2014-	11:1
B38A15M0	1499	82	94,6	100	220	2014-	11:1
B38K15T0	1499	82	94,6	170	320	2013-	9,5:1

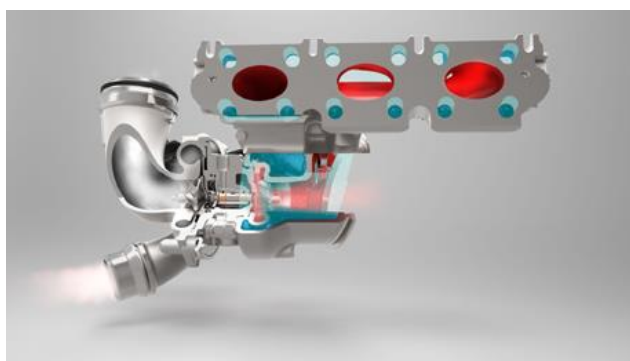
Ako mnoho ďalších automobiliek, aj BMW siahlo po tomto type 3-valcového motora, uvediem preto výhody a nevýhody použitia 3 valcov. Kľukový hriadeľ trojvalcového motora nie je rozdelený po 180°, teda plochý ako u štvorvalcových motorov, ale je rozdelená ako u šesťvalcových motorov po 120°. Medzi jeho výhody patrí hlavne menšia veľkosť, menšia hmotnosť a menšie vnútorné trenie oproti 4-valcovému, ktorý 3-valcová konštrukcia nahrádza. Keďže je teda objem tohto motora menší, spotreba dosahuje taktiež nižších hodnôt, čo so sebou prináša vo výsledku menej emisií, a preto aj cez väčšie množstvo nevýhod BMW siahlo po tejto kompaktnejšej možnosti. Medzi mnoho nevýhod, ktoré sa v praxi ukazujú patrí hlavne vibrácia motora kvôli nerovnomernosti síl, keďže je vždy väčšia sila smerom pohybu dvoch valcov nahor ako jedného nadol. To sa vo výsledku prejaví ako pomalší rozbeh motora do vyšších otáčok, a to napriek nižšej hmotnosti agregátu. V nižších otáčkach sú vibrácie motora najvýraznejšie, pretože zážih nastane iba každých 240° rotácie kľukového hriadeľa na rozdiel od štvorvalcového prevedenia pri 180°. Na utlmenie vibrácií a stabilnejšieho chodu motora je preto potreba protizávažia na kľukovom hriadeľi, čo zvyšuje jeho hmotnosť. [25]



Obrázok 22: Rez motorom B38 [26]

Motor B38 bol uvedený na trh v roku 2014 ako jeden z motorov novej rodiny B. Zdieľa až 60 % dielov s dieselovým trojvalcom B37 o rovnakom objeme a 40 % komponentov so 4-valcovým motorom B48. Všetky tieto motory dnes už spoločne aj so šesťvalcom B58 sú vyrábané na jednej montážnej linke v Rakúsku. Medzi konštrukčné prvky motora patrí variabilný zdvih ventilov Valvetronic, rozvod je typu DOHC a motor je vybavený jednokomorovým trubodúchadlom Singlescroll. Kompresný pomer je 11:1 a motor je vyrobený z hliníkovej zliatiny ako blok tak aj hlava valcov. [24]

Turbodúchadlo Singlescroll od firmy Continental má turbínovú skriňu odlievanú z hliníka, čo je veľmi netypické a zaujímavé riešenie. Ide zároveň o prvý typ takéhoto turbodúchadla. Výfukové plyny totiž dosahujú v benzínovom motore až 1000 °C, čo je pre hliníkový materiál dávno prekonaná hranica teploty topenia. Avšak vďaka chladeniu turbínovej skrine vodou je táto teplota redukovaná na 350 °C. Týmto riešením dosiahlo toto turbodúchadlo úsporu na hmotnosti až 30 % oproti konvenčným turbodúchadlám s turbínovou skriňou vyrobenou zo žiaruvzdorných ocelí a zliatin. Dizajn turbodúchadla tiež redukuje zaťaženie katalyzátora. [27]

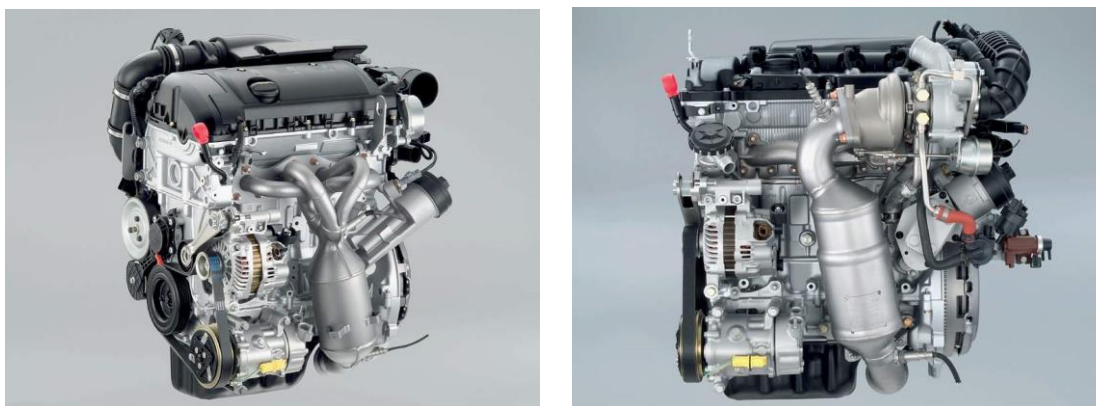


Obrázok 23: SingleScroll vyrobené z hliníka [27]

## 3.2 RADOVÉ 4-VALCOVÉ MOTORY

### 3.2.1 BMW/PSA PRINCE

Motor pod označením N13, N16 a N18 vyvinula automobilka BMW v spolupráci s PSA Group v roku 2002. BMW ho začalo používať v roku 2011 dovtedy sa nachádzal iba pod kapotou MINI a nahradil predchádzajúce atmosférické motory N43, N45 a N46. Bol to prvý preplňovaný benzínový motor, ktorý začala automobilka používať v 21. storočí a v kategórii od 1,4-1,8 litra vyhral cenu motora roku 2006 až 2014. V roku 2006 predstavila automobilka dve verzie, a to atmosférický motor s výkonom 85kW pri 5700 ot./min a druhý motor bol preplňovaný turbom TwinScroll značky Garrett a priamym vstrekom paliva o výkone 105kW pri 5500 ot./min. Oba mali zhodný zdvihový objem 1598cm<sup>3</sup>. Postupom času sa objavili ďalšie verzie tohto motora. Medzi konštrukčné riešenia motora patrili variabilný zdvih ventilov Valvetronic, olejové čerpadlo s riadeným výtlakom, či pohony príslušenstva jednoduchým remeňom. Okrem týchto už zaužívaných riešení sa v motore objavili inovácie ako je už zmienené priame vstrekovanie paliva, turbo Twin-Scroll, či odpojiteľná vodná pumpa pre zlepšenie spotreby paliva a emisií. [28] Motory boli umiestnené pod kapotu vozidiel BMW rady 1 a rady 3 nakoniec v 3 verziách a to v 75 kW, 100 kW a najsilnejšej 125 kW.



Obrázok 24: Atmosférická verzia 85 kW (vľavo), Preplňovaná verzia 10 kW (vpravo)

V motore sa nachádzala delená kľuková skriňa s úložnou doskou tzv. bedplate, ktorá bola dovtedy používaná v športových motoroch ako je motor BMW V10. Hliníkový diel medzi olejovou vaňou a kľukovou skriňou s blokom motora poskytuje teplotne konštantné podmienky pre uložené ložiská kľukového hriadeľa a súčasne prispieva k priaznivému akustickému chodu motoru. Nízka hmotnosť agregátu iba 114 kg bola dosiahnutá aj vďaka absencii vyvažovacích hriadeľov. Ďalším riešením prevzatým z motoršportu boli ojnice s trapézovým profilom v mieste ojničného oka, ktoré podobne ako kľukový hriadeľ s nezvykle malým priemerom ložiskových čapov taktiež pomáhali znížiť hmotnosť agregátu. Olejové čerpadlo dodáva tlak do mazacieho systému v závislosti na aktuálnom tlaku oleja. Nie je potrebný redukčný ventil, čo ušetrí 160 W a asi 1 % paliva. Preplňovaná verzia poskytuje krútiaci moment 240 Nm už od 1400 ot./min a je konštantný až do 4000 ot./min. Ventilový rozvod je DOHC, s dvojicou vačkových hriadeľov v hlave a plne variabilné časovanie je aplikované na dobu otvorenia sacích ventilov, teda systém VANOS. Mechanicky poháňané palivové čerpadlo od vačkového hriadeľa dodáva tlak do rozdeľovacej lišty a ten sa mení na vstrekovací tlak až 120 bar. Kompresný pomer je 10.5:1 a motor je vybavený čidlami klepania, ktoré podávajú riadiacej jednotke informácie o potrebe zníženia plniaceho tlaku

alebo predstihu zážihu. Priaznivý priebeh krútiaceho momentu zabezpečuje TwinScroll, ktoré sa dokáže roztočiť až na 220 000 ot./min a je vybavené obtokovým kanálom Wastegate, ktorý sa otvára pri dosiahnutí plniaceho pretlaku 0,8 bar. Teplota výfukových plynov môže dosahovať 950 °C a teplotné pomery sú preto regulované vodným a olejovým chladením. [28] Motor N13B16, teda preplňovaný 4-valcový motor nahradil v roku 2015 trojvalcový agregát B38B15. Trojvalec má síce menšiu papierovú spotrebu 5,1 l/100 km oproti 5,8 l/100 km, tiež nižšie emisie 119 g CO<sub>2</sub>/km oproti 136 g CO<sub>2</sub>/km, avšak v reálnych podmienkach je spotreba paliva rovnaká a motor je menej pružný a stráca na predošlý štvorvalcový motor napriek rovnakej hodnote výkonu oboch agregátov 100 kW. [29]



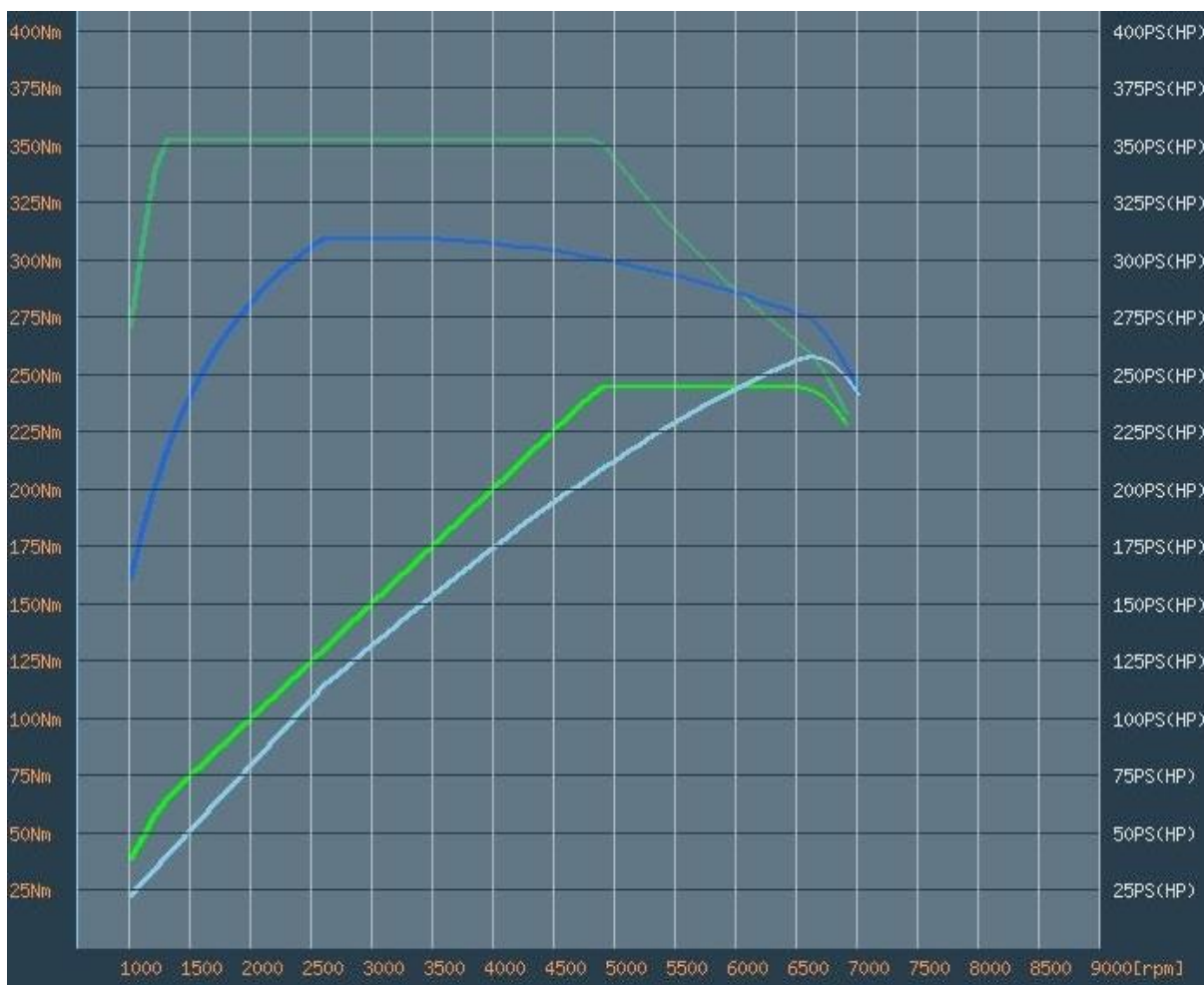
Obrázok 25: Twinscroll turbo použité v motore [28]

### 3.2.2 BMW N20

Štvorvalcový preplňovaný 2,0 litrový agregát nahradil doposiaľ používané šesťvalcové atmosférické motory N52 a N53. Motor existoval aj v menšej 1,6 litrovej verzii s výkonom 125 kW z označením N20B16, avšak tu bude popísaná úspešnejšia verzia N20B20. Verzia N20B20 dosahovala výkonu v rozmedzí 115 kW až 180 kW, a práve tá najsilnejšia verzia sa stala motorom roku 2012 a 2013. [30]

Blok motora ako u všetkých novších benzínových agregátov je vyrobený z hliníkovej zliatiny, časovanie ventilov zabezpečuje systém Double-Vanos a variabilný zdvih systém Valvetronic. Motor má tak ako všetky moderné agregáty priamy vstrek paliva HPI, ktorý zabezpečuje tlak 200 bar a za studena používa viacej vstrekov behom pracovného cyklu. Preplňovanie je podobne ako u motorov N13 a N18 zabezpečené dvoj komorovým TwinScroll turbom s plniacim tlakom 1,3 bar, tento krát však od spoločnosti Mitsubishi. Pokojnejší chod motora zabezpečuje dvojica vyvažovacích hriadeľov umiestnených tesne pod kľukovým hriadeľom. [30]

N20B20 váži 144 kg, čo je úspora hmotnosti o 18 kg oproti predchádzajúcej 6-valcovej atmosférickej verzii. Kombinovaná spotreba paliva klesla o 2,5 l/100 km, motor sa stal pružnejším s vyššou hodnotou krútiaceho momentu až 350 Nm oproti 310 Nm v N52. [30] Konštrukčne bol motor veľmi podobný motorom Prince a s tým sú aj spoločné mnohé problémy. Časté vibrácie motora a hrubý voľnobeh sú spôsobené zanášaním palivových vstrekovačov. Motor je tiež citlivý na kvalitu benzínu a interval výmeny oleja je ako u všetkých novších motorov BMW vhodné skrátiť a používať kvalitnejší olej ako doporučuje automobilka. [31]



Obrázok 26: Diagram plného zaťaženia motora BMW X1 28i N52B30 (modrá farba) a N20B20 (zelená farba) [29]

### 3.2.3 BMW B48

Model B48 je súčasťou najnovšej série 3-, 4- a 6-valcových motorov, ktoré zdieľajú veľký počet dielov medzi 3- a 4- valcovými je zhoda dielov až 60 %. Motory majú vo väčšine prípadov zhodnú rozteč valcov, zhodný kľukový mechanizmus, zhodný zdvihový objem jedného valcu približne 500 cm<sup>3</sup>, či rovnaký spôsob vytvrdzovania vnútorných stien valcov. Motor B48 je vybavený vyvažovacími hriadeľmi, ktoré výrazne prispievajú k hladšiemu chodu motora. Model bol uvedený prvýkrát v roku 2014 pre vozidlá MINI a v roku 2015 pre BMW. [32]



Obrázok 27: Priečne uložený motor B48 [33]

Tento motor podobne ako ostatné z označením B využíva všetky najnovšie technológie ako sú Double-Vanos, Valvetronic, či priame vstrekovanie HPI. Na zabezpečenie plynulosti chodu je motor vybavený dvoma vyvažovacími hriadelmi. Chladienie motora zabezpečujú dve vodné pumpy jedna poháňaná mechanicky druhá elektricky. Na rozdiel od trojvalcového motoru je tu použité turbodúchadlo Twin-Scroll, ktoré má svoje vlastné chladiace čerpadlo a medzichladič. Podobne ako predchádzajúca generácia štvorvalcov sú rozvody poháňané reťazou a tou je aj poháňané olejové čerpadlo. Vysokotlakové palivové čerpadlo je priamo poháňané vačkovými hriadelom, nie rozvodovou reťazou ako u predchádzajúcej generácie. Akustické kryty motora pohlcujú veľké množstvo zvuku a teda motor má veľmi tichý chod. Tieto kryty tiež poskytujú dobrú tepelnú izoláciu motora, to znamená, že sa skôr zahrieva a po vypnutí zostáva dlhšie teplý, čo má priaznivý vplyv ako na spotrebu, tak na jeho životnosť. Výkonnostné rozdiely variant motora B48 sú dosiahnuté zmenou kompresného pomeru, úpravou riadiacej jednotky alebo pridaním väčšieho turba. Všetky varianty motora majú rovnaký zdvihový objem  $1998 \text{ cm}^3$  rovnako ako vrtanie  $82 \text{ mm}$  a zdvih  $94,6 \text{ mm}$ . Z výkonnostného hľadiska dosahujú štvorvalcové dvojlitrové agregáty výkon v rozmedzí  $135 - 190 \text{ kW}$  a krútiaceho momentu  $280 - 400 \text{ Nm}$ . Niektoré modely majú špeciálne zariadenie ktoré dokáže na 20 sekúnd zvýšiť krútiaci moment až o  $10 \%$  čo je veľmi užitočné pri predbiehaní. [33]

Medzi najčastejšie problémy patrí vytváranie usadenín na sacom ventile čo je spojené s priamym vstrekom paliva do valca. Týmto problémom trpí väčšina moderných motorov s priamym vstrekom a BMW nie je výnimkou. Veľkou nevýhodou je nezmyselne predĺžený interval výmeny oleja. Jeho čistota a kvalita je pre turbomotor veľmi dôležitá, a preto je potrebné olej meniť častejšie ako uvádza výrobca. [33]

### 3.3 RADOVÉ 6-VALCOVÉ MOTORY

#### 3.3.1 BMW N52

BMW N52 bol radový šesťvalcový zážihový motor, ktorý existoval v objemoch  $2,5$  a  $3,0$  litra. K dispozícii bol od roku 2004, kedy motor N52 nahradil M54 a zaviedol niekoľko opatrení na zníženie hmotnosti, pri  $161 \text{ kg}$  bol o  $10 \text{ kg}$  ľahší ako M54. Zároveň to bol jeden

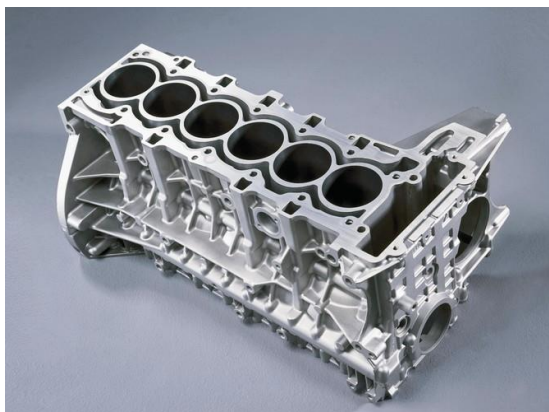
z posledných atmosférických motorov automobilky. Verzia motora N52B25 získala v roku v 2007 ako jedna z ďalších pohonných jednotiek BMW cenu motora roku v kategórii do 2,5 litra. [34]



Obrázok 28: BMW N52 [34]

Motor N52 mal dvojdielnu kľukovú skriňu a bol prvým motorom u osobných vozidiel, ktoré používali horčík. Pre motor N52 bola vyvinutá špeciálna horčíková zliatina (AJ62), ktorá zapríčinila zníženie hmotnosti a rizika vzniku korózie. Horná časť kľukovej skrine bola zo zliatiny horčíka a hliníka a spodná časť kľukovej skrine bola navrhnutá ako nosná doska a bola vyrobená z horčíka. Medzi kľukovou skriňou a základovou doskou bolo kvapalnú tesnenie vstreknuté pod vysokým tlakom v obrobených drážkach. Ložiská kľukového hriadeľa boli zo spekanej ocele. Kľuková skriňa obsahovala hliníkovo-kremíkovú vložku (AlSi17) alebo "vnútorný blok", ktorý bol odliaty neoddeliteľne v horčíkovej zliatine. Táto vložka poskytuje závitové pripojenia pre montáž na prevodovku, hlavu valca a hlavné skrutky kľukového hriadeľa a priechody chladiacej kvapaliny na zabránenie kontaktu chladiva s horčíkovou časťou bloku. Motor N52 mal hliníkové vložky valcov z Alusilu. Na rozdiel od predchádzajúcich motorov bol kryt rozvodov motora N52 odliaty ako súčasť motorového bloku. [34]

Motor N52 mal kľukový hriadeľ so siedmimi hlavnými ložiskami, lichobežníkové spojovacie tyče, hliníkové piesty a ľahké termoplastické sacie potrubie. Motor N52 mal tiež elektricky poháňanú vodnú pumpu narozdiel od mechanicky poháňanej remeňom v predošlom motore M54. Motor N52 mal trojstupňové ovládanie diferenčného nasávania vzduchu (DISA) na zlepšenie nabíjacieho cyklu, pričom obe pohony DISA boli ovládané elektromotormi (predtým ovládané pneumaticky). [34]



Obrázok 29: Blok valcov vyrobený z Alusilu [34]

Hlava valcov bola vyrobená z Alusilu so systémom Valvetronic II. Oproti verzii Valvetronic I sa maximálny zdvih sacích ventilov zvýšil na 9,9 mm, zatiaľ čo minimálny zdvih sa znížil na 0,18 mm. Hmotnosť novšieho variabilného zdvihu sa znížila o 13 %. [34]

Motory N52 vyrobené pred novembrom 2008 boli citlivé na klepanie hydraulického nastavovacieho ventilu (HVA) pri studenom štarte motora, alebo pri častých jazdách na krátke vzdialenosti. V takýchto situáciách totiž prvky HVA nemajú dostatočné množstvo oleja na mazanie. Zlepšenie nastalo zvyčajne s dlhšou jazdnou vzdialenosťou alebo zohriatím motora prevádzkovú teplotu. Vozidlá vyrobené po novembri 2008 boli však namontované s vylepšenou hlavou valca, ktorá tento problém eliminovala. [34]

### 3.3.2 BMW N54

BMW N54 bol 3,0-litrový šesťvalcový benzínový motor, ktorý mal dve paralelné turbodúchadlá. S priemerom vrtania 84,0 mm a zdvihom 89,6 mm mal motor N54 objem 2979 cm<sup>3</sup>. V rokoch 2007 až 2012 získal motor N54 šesť po sebe nasledujúcich ocenení "Medzinárodný motor roka".



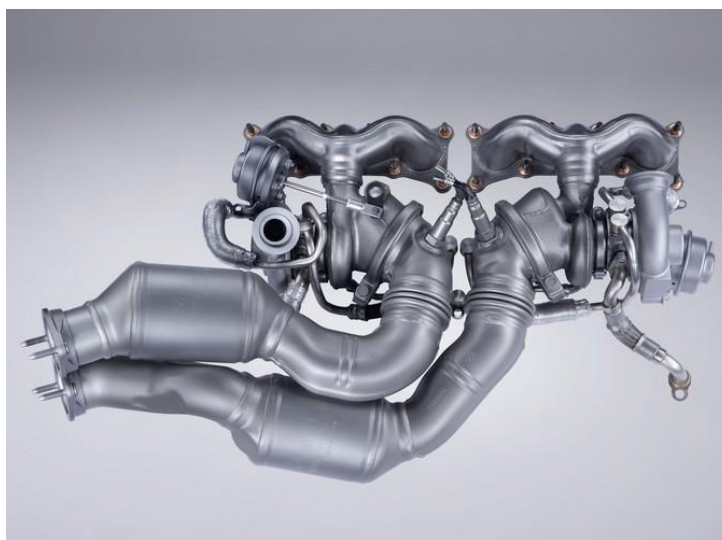
Obrázok 30: Motor BMW N54B30

Blok motora pre motor N54 bol založený na koncepcii motora predchádzajúcej generácie M54B30, pretože novší blok N52 nebol vhodný na preplňovanie turbodúchadlom. Ako taký, motor N54 mal open deck design s dvojdielnou skriňou vyrobenou z hliníka. Kvôli vysokým

hodnotám krútiaceho momentu bola kľuková skriňa vyrobená z jedného materiálu tlakovým odlievaním z AL 226. Motor N54 bol podobne ako jeho nástupca N55 vybavený tlakovým odvodušňovacím ventilom kľukovej skrine tak aby olej vplyvom vysokého podtlaku nasávaný do sacieho potrubia. Vložky valcov pre motor N54 boli vyrobené zo šedej liatiny. Okrem toho mal motor N54 kovaný kľukový hriadeľ a maximálne otáčky dosahovali až 7000 ot./min.

Rozvodový mechanizmus bol typu DOHC a tiež štandardne vybavený variabilným časovaním DoubleVanos, avšak oproti nasledujúcej generácii motor N54 nemal variabilný zdvih ventilov Valvetronic.

Motor N54 mal dve turbodúchadlá Mitsubishi TD03 s nízkym momentom zotrvačnosti, pričom každé turbodúchadlo dodáva pretlak pre tri valce, to znamená, že pracujú paralelne. Vzhľadom na vysoké teploty boli turbodúchadlá spojené s motorovým olejovým systémom a integrované do chladiaceho okruhu motora. Maximálny pretlak v sacom potrubí je 0,6 baru s funkciou preklenutia (overboost), ktorá môže v určitých situáciách zvyšovať boost (pretlak v sacom potrubí) na 0,93 baru. Kontrolu hodnoty tlaku v sacom potrubí zabezpečuje systém riadenia motora (MSD80), ktorý používal tzv. Wastegate. Wastegate je obtokový ventil, ktorý sa otvára v tomto prípade podtlakovými aktuátormi. Keď bol dosiahnutý požadovaný tlak v sacom potrubí, ventily Wastegetu sa otvorili a nasmerovali časť výfukových plynov priamo do výfukového potrubia, a teda okolo turbíny. Navyše odvodušňovacie ventily môžu znížiť nežiaduce špičky v booste, napríklad keď sa škrtiaca klapka rýchlo uzavrie. [35]



Obrázok 31: Paralelne pracujúce turbodúchadlá v motore N54B30 [35]

Motor N54 mal priame vstrekovanie, ktoré umožňovalo dosiahnuť vyšší kompresný pomer až 10,2:1 a nižšej teploty výfukových plynov pri plnom zaťažení ako je u bežných motorov. S piezoinjektormi bol benzín vstrekaný pod tlaku v rozmedzí 50 až 200 barov v závislosti od toho či pracoval s homogénnou alebo vrstvenou zmesou.

Hlavnými problémami, ktoré sa objavovali u tohto motora bolo poškodenie vysokotlakového čerpadla paliva, čo sa prejavilo ako dlhé spúšťanie motora. Druhý problém bol spojený so spomínaním obtokovým kanálom Wastgate, kde nastal problém s jeho ovládacím tiahom. Výsledkom boli rušivé zvuky a riziko poškodenia turbodúchadla kvôli nefunkčnému otváraniu obtokového kanálu by mohlo dôjsť k overboostu alebo naopak nízkemu tlaku pri

plnom otvorení Wastegatu. Ako reakciu nato automobilka predĺžila záruku na palivové čerpadlo na 193000 najazdených kilometrov a na Wastegate 132000 km. [35]

### 3.3.3 BMW N55

V roku 2009 sa v automobiloch BMW objavil N55 3.0-litrový radový šesťvalcový benzínový motor N55. S vrтанím 84,0 mm a zdvihom 89,6 mm mal motor objem 2979 cm<sup>3</sup>. N55 používa jedno Twinscroll turbo naproti predošlému N54, ktorý používal dve paralelné monoscroll (Singlescroll) turbá. Priame vstrekovanie benzínu je uskutočňované pomocou elektromagnetických trysiek s viacerými otvormi od firmy Bosch. [36]



Obrázok 32: Motor BMW N55 [36]

Rovnako ako N54 mal motor N55 open deck design s dvojdielnou hliníkovou kľukovou skriňou. Vďaka svojmu vysokému krútiacemu momentu bola kľuková skriňa motora N55 vyrábaná tlakovým liatím. Motor N55 mal vložky valcov z šedej liatiny a v novom vyhotovení boli pásy medzi valcami vybavené drážkou, takže chladenie mohlo prúdiť z jednej strany kľukovej skrine do druhej. Motor mal oproti predchádzajúcemu nižšiu hmotnosť kľukového hriadeľa o 3 kg u motoru N54 avšak rovnako maximálne otáčky motora dosahovali rovnakej hodnoty 7000 ot./min.

Hlava valcov N55 s rozvodom DOHC a systémom DoubleVanos je tiež celohliníková a každý valec má 4 ventily. Na rozdiel od predchodcu má DoubleVanos elektromagnetické ventily a je doplnený o variabilný zdvih Valvetronic, či väčší priemer sacích ventilov. Výfukové ventily sú duté sodíkové. Motor dostal tiež ľahšie vačkové hriadele vyrobené vysokotlakovým vnútorným tvárnením.

Motor N55 používa turbodúchadlo Borg Varner B03 s klznými journal ložiskami s priemerom stočeného kompresorového kolesa 62 mm. Maximálny pretlak, ktoré turbodúchadlo vytvára je okolo 0,6 baru. Vďaka Twinscroll turbu je lepšie a účinnejšie využitá energia výfukových plynov, a tak naproti predošlému motoru s dvoma turbami je toto riešenie preplňovania výhodnejšie. Kvôli svojmu turbodúchadlu bol motor N55 vybavený odvzdušňovačom kľukovej skrine, ktorý obmedzuje tlak, takže olej nie je nasávaný cez odvzdušňovač do sacieho potrubia v dôsledku vysokého podtlaku. [36]

### 3.3.4 BMW B58

Najnovší radový šesťvalcový motor so zdvihovým objemom 2998 cm<sup>3</sup> nahradil predchádzajúci N55 s taktiež s takmer rovnakým zdvihovým objemom 2979 cm<sup>3</sup>. Väčšinu technológií zdieľa s predošlým motorom, ako je priamy vstrek paliva, variabilné časovanie sacích a výfukových ventilov a tiež systém Valvetronic. V porovnaní s predchádzajúcim N55 mal nový motor väčšie turbodúchadlo Twinscroll s priemerom turbínového kolesa väčším o 6 % a kolesa kompresoru o 10 %. Zväčšenie turbodúchadla prinieslo vo výsledku až 20 % zvýšenie plniaceho tlaku. B58 používa medzichladič voda-vzduch, integrovaný do pretlakového priestoru, čím sa znižuje objem vzduchu medzi kompresorom a vstupom do sacieho potrubia. Vďaka tomu je v sacom potrubí udržiavaná stála teplota, čo má za následok zvýšenie výkonu. Podobne ako u štvorvalcového motora je motor zabalený do akustických krytov, čo umožňuje v tomto prípade udržať motor teplý až po dobu 36 hodín po odstavení. To všetko okrem priaznivého akustického prejavu pomáha k zníženiu emisií a spotreby, či opotrebovaniu motora štartovaním za studena. [37]



Obrázok 33: BMW B58 [37]

B58 existuje doposiaľ v dvoch verziách a to s výkonom 240 kW a krútiacim momentom 450 Nm a 250 kW s krútiacim momentom 500 Nm. V Tabuľka 2 je benzínový agregát umiestnený pod kapotou modelu 540i porovnaný s konkurenčnými motormi. Ako je zrejmé z tabuľky, motor dosahuje 100 km/h najrýchlejšie a to aj napriek tomu, že je použité iba jedno turbodúchadlo. BMW ukazuje svoj náskok aj v kombinovanej spotrebe paliva, ktorá taktiež dosahuje najnižšej hodnoty, a to aj vďaka spojeniu technológií s programom EfficientDynamics.

Tabuľka 2: Porovnanie motoru B58 umiestneného v modeli BMW 540i s konkurenčnými automobilmi [38]

Model	BMW 540i xDrive	Jaguar XF 35t AWD	Mercedes-Benz E 400 4Matic
Motor	3.0 R6 turbo	3.0 V6 kompresor	3.5 V6 twin-turbo
Pohon	4x4	4x4	4x4
Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]	2998	2995	3498
Valce/ventily	6/4	6/4	6/4
Najvyšší výkon [kW/min]	250/5500-6500	250/6500	245/5250-6000
Točivý moment [Nm/min <sup>-1</sup> ]	450/1380-5200	450/4500	480/1200-4000
Prevodovka	8A	8A	9A
Max. rýchlosť [km/h]	250	250	250
Zrýchlenie 0-100 km/h [s]	4,8	5,4	5,2
Komb. spotreba [l/100 km]	6,9	8,6	7,6

### 3.4 VIDLICOVÉ 8-VALCOVÉ MOTORY

Najnovšie 8-valcové vidlicové motory BMW vďaka usporiadaniu valcov do V a uhlom 90° zaisťujú perfektné vyrovnanie zotrvačných síl, a tým aj nezvyčajne hladký chod a vysoký výkon motora. V závislosti na modeli bývajú v motore použité moderné technológie ako napríklad TwinPower Turbo, vďaka ktorým vozidlo dosahuje nadpriemerný výkon. Centrálné uloženie turbodúchadiel medzi bloky valcov dovoľuje motoru V8 veľmi kompaktnú konštrukciu. Motory spravidla používajú priamy vstrek paliva HPI a vodou chladeným medzi-chladiaci systém. Kombináciou týchto technológií spojených s veľmi ľahkou konštrukciou komponent motora použitím moderných materiálov ako je napríklad zliatina horčíka a hliníka, z ktorej je vyrobená kľuková skriňa, dosahujú motory V8 pôsobivé úrovne výkonu s vysokou účinnosťou. Takto môže 4,4 litrový TwinPower V8 benzínový motor pod označením N63B44 v modeli BMW 550i dodávať plných 300 kW (407 hp) a maximálny krútiaci moment 600 Nm. A všetko toto so spotrebou iba 10,4 litra benzínu na 100 km. [39]



Obrázok 34: BMW V8 TwinTurbo [40]

V8 umiestnený napríklad v modeli BMW X6M pod označením S63B44 poskytuje ešte viac výkonu. V motore nájdeme dvojicu turbodúchadiel Twin-Scroll, ktoré dodávajú enormné množstvo vzduchu do spaľovacej komory. Výsledný výkon poskytuje 408 kW (555hp) a 680 Nm, čo predstavuje 126 konských síl na jeden liter zdvihového objemu motoru. [39]

Patentovaná technológia prekrývania sa valcov v rovine napojená na výfukové potrubie poskytuje zvlášť rovnomerné rozloženie prívodu výfukových plynov. Teda rozdiely v tlakoch, ktoré vedú k oneskoreniam v režime odozvy sú efektívne odstránené. To znamená, že je dosiahnutej vysokej úrovne spontánneho výkonu. Automobilka sa zameriava aj na vysokootáčkové motory V8 obohatené o turbodúchadlo a priame vstrekovanie paliva. Prevzatím priamo z motoršportu dosahuje atmosféricky plnená V8 až 8300 otáčok za minútu. Pevná a ľahká konštrukcia spolu s ôsmimi jednotlivo elektricky riadenými škrtiacimi klapkami charakteristickými pre pohonné jednotky V8 vkladajú technológiu motoršportu do automobilu vhodného na každodenné používanie. Systém jednotlivého ovládania motýlej klapky umožňuje motoru citlivo reagovať v nízkych otáčkach a umožňuje okamžitú reakciu aká je u vysokovýkonných motoroch požadovaná. Jedna z ďalších konštrukčných vylepšení alebo vymožeností je olejový systém, ktorý umožňuje pozdĺžne a priečne zrýchlenie až 1,4 g. Motory obsahujú systém na kontrolu klepania a procesu spaľovania, ktorý s každým zapálením sviečky monitoruje a zisťuje klepanie motora, zlyhanie sviečky a vynechávanie v spaľovacom procese. [39]

#### 3.4.1 BMW S65

Jeden z najúspešnejších motorov automobilky BMW bol práve atmosféricky plnený vidlicový osemvalec S65B40, ktorý získal mnoho ocenení a v najprestížnejšej súťaži The International Engine of the Year. Motor existuje v dvoch verziách, v spomínanej S65B40 o výkone 309 kW a objemnejšej 4,4 litrovej verzii S65B44 s výkonom 331 kW. V kategórii motorov so zdvihovým objemom od 3,0 do 4,0 litrových motorov dosiahol prvenstvo v roku 2008 a trvalo 5 rokov po sebe až do kým ho vplyvom doby downsizingu nenahradil preplňovaný radový šesťvalec S55.



Obrázok 35: BMW S65B40 [41]

Konstrukcia motora je rovnaká ako u 10-valcového S85B50 s tým, že má o 2 valce menej. Hlava valcov je podobná teda vyrobená z jedného kusu hliníkovej zliatiny, avšak zmena nastala v premenlivom časovaní ventilov Double-Vanos, ktorý však neobsahoval vysokotlakové olejové čerpadlo. Jeho absencia však znamená ďalšie zníženie hmotnosti agregátu. Vrtanie valcov malo priemer 92 mm a zdvih 75,2 mm u objemnejšej verzie bol zdvih 82 mm. Celková hmotnosť motora je 202 kg. Maximálny výkon motora dosahuje pri 8300 otáčkach, čo je takmer hranica, pretože červené pásmo je 8400 otáčok. Keďže sa jedná o atmosfericky plnený motor, hodnota krútiaceho momentu je nižšia 400Nm pri 3900 otáčkach. Motor pracoval s pomerne vysokým kompresným pomerom 12:1. Váčkový hriadeľ sacích ventilov je spojený s kľukovým hriadeľom rozvodovou reťazou, zatiaľ čo váčkový hriadeľ výfukových ventilov ozubeným prevodom. Rozsah natočenia váčkových hriadeľov začínal pri 58° u sacieho a 48° u výfukového s trvaním 256° a zdvih oboch ventilov bol 11,35 mm. Riadiaca jednotka motora je Siemens MS S60, ktorá mala okrem iného na starosť aj zapalovanie v poradí 1-5-4-8-7-2-6-3, čo je zmena oproti iným osemvalcovým motorom, ktoré sú 1-5-8-7-6-3-7-2. Vďaka všetkým týmto technológiám dokázal model M3 zrýchliť na 100 kilometrovú rýchlosť za 4,5 sekundy. [42], [43]

Napriek mnohým oceneniam sa u tohto motoru vyskytovali určité problémy, ktoré boli však totožné ako u V10. To znamená hlavne nízku životnosť ojnicných ložísk, ktoré v niektorých prípadoch bolo nutné meniť po každých 50 tisícoch najazdených kilometrov. [42]

V dobe downsizingu sa objavujú unikátne a veľmi moderné technológie, ktoré zvyšujú výkon motora a súčasne znižujú jeho spotrebu, aj preto mal tento V8 motor reálne nameranú kombinovanú spotrebu paliva až 16,5 l/100 km oproti jeho nástupcovi S55, ktorého spotreba je 11 l/100 km.

### 3.5 VIDLICOVÉ 10-VALCOVÉ MOTORY

Jediný 10-valcový vidlicový motor vyrobený automobilkou BMW, ktorý bol umiestnený prvý krát v roku 2004 do vozidla BMW M5 zožal veľký úspech a oproti konkurencii bol obohatený o 2 valce. Motor s označením bol navrhnutý tak, aby využíval veľmi široké pásmo otáčok.

Preto dosahoval červeného pásma až pri 8250 otáčkach. Išlo o atmosféricky plnený kus, ktorý dosahoval úctyhodných 100 konských síl na jeden liter. Oproti jeho predchodcovi S54 sa zvýšil kompresný pomer z 11,5 na 12,0:1. Desať-valcový 5,0 litrový motor dosahoval maximálneho výkonu 373kw pri 7750 ot./min, čo bolo o necelých 80 kW viac ako u predchádzajúcej už spomínanej V8 S54, pričom celková váha sa vďaka unikátnej konštrukcii a materiálom stúpla len o pár kilogramov na 240 kg. Maximálny točivý moment 520 Nm je dostupný pri 6100 otáčkach a už pri 1300 otáčkach je 380 Nm. Desať valcov usporiadaných do V zvierajú uhol do 90°, pričom obe rady sú vzájomne presadené o 17 mm. [44]



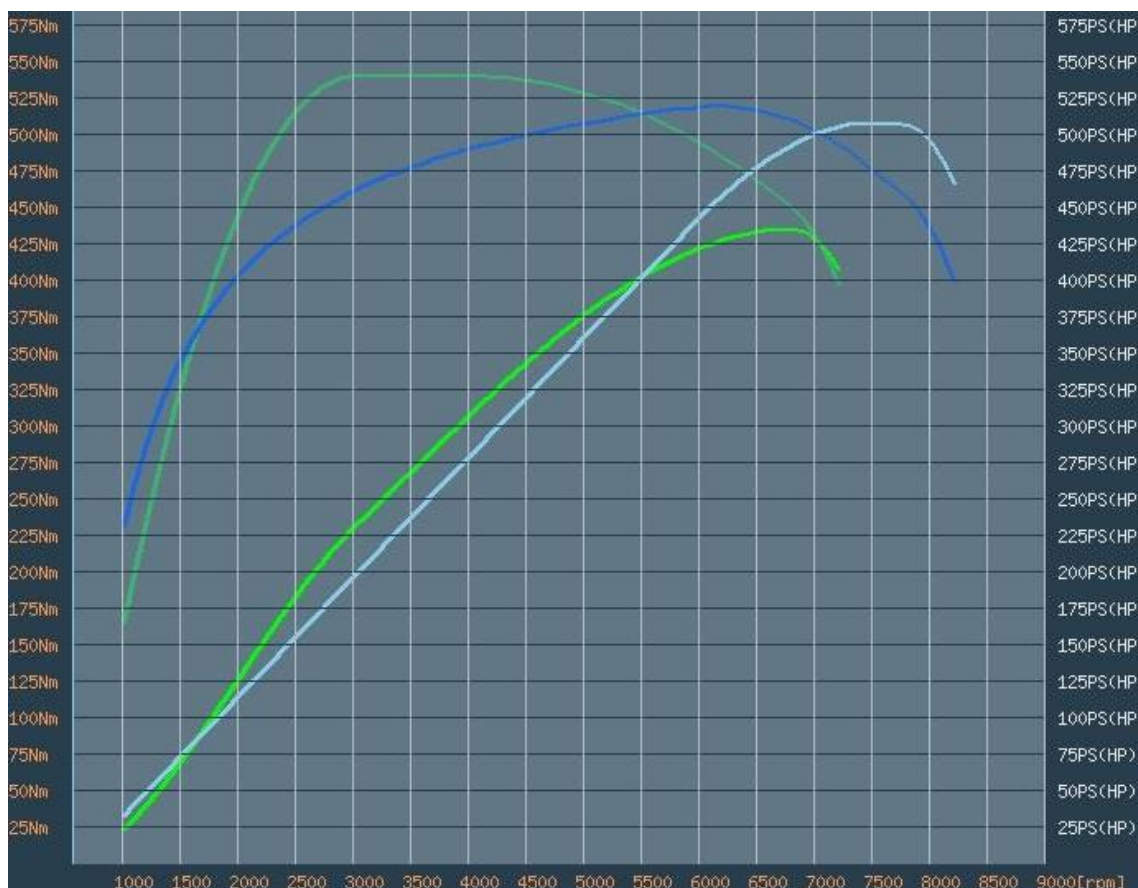
Obrázok 36: BMW S85 [45]

V tomto motore sa prvýkrát objavila delená kľuková skriňa s úložnou doskou (tzv. bedplate), ktorá bola doposiaľ používaná prevažne v športových motoroch F1. Hliníkový diel medzi olejovou vaňou a kľukovou skriňou s blokom motora poskytuje teplotne konštantné podmienky pre uloženie ložísk kľukového hriadeľa a súčasne prispieva k akustickému prejavu motora. Šesťkrát uložený kľukový hriadeľ má hmotnosť necelých 22 kg priemer hlavných ložísk 60 mm a ich pracovná šírka je 28,2 mm. Ojničné ložiská sú na kľukovom hriadeľi usporiadané po dvojiciach s presadením 72°. Hmotnosť olejom chladeného piestu s piestnymi krúžkami a čapom činí 481,7 g. 140,7 mm dlhá ojnicová delená riadeným lomom je vyrobená z vysokopevnostnej oceli a má hmotnosť 623 g. [44]

Hlava valcov z hliníkovej zliatiny vznikala podobne ako kľuková skriňa v rovnakej továrni BMW odkiaľ pochádzali produkty pre monoposty F1 tímu BMW Williams. Dva sacie ventily s priemerom 35 mm a 2 výfukové s priemerom 30,5 mm majú priemer drieku 5 mm a boli vyrábané špeciálne pre tento motor. S85B50 používal systém Double-Vanos (plne variabilné časovanie ventilov). Zmena nastavenia prebieha podľa údajov veľmi rýchlo a plynule v rozsahu 37° natočenia kľukového hriadeľa vďaka vysokému prvotnému tlaku oleja až 80 bar. Mazací systém musel splňať veľmi náročné podmienky pretože pri rýchlej jazde mohlo bočné zrýchlenie dosahovať až 1 g a pri brzdení to bolo až 1,3 g. Pri takých vysokých hodnotách zrýchlenia tu je riziko nasatia vzduchu z poloprázdnej olejovej nádoby. Preto BMW zaviedlo systém, ktorý zabezpečil pri bočnom zrýchlení vyššom ako 0,6 g zapnutie elektricky poháňaného olejového čerpadla, ktoré čerpá olej späť do hlavnej olejovej vane. Pri brzdení sa olej presúva z hlavného zásobníku do menšieho umiestneného vpredu, čo je znova riešené núteným prečerpávaním pomocou čerpadla. [44]

Motor obsahuje 10 elektronicky ovládaných škrtiacich klapiek, čo je jedna na každý valec, ktoré sú schopné plného otvorenia už za 120 milisekúnd. Medzi výhody tohto riešenia veľmi dynamické chovanie motora vo vysokých otáčkach a naopak jemné dávkovanie zaťaženia v nízkych otáčkach. Aj napriek vysokému výkonu splňuje motor emisnú normu Euro IV vďaka štyrom katalyzátorom umiestnených v nerezovom výfukovom potrubí. O všetky úkony motora sa starala vtedy prevratná riadiaca jednotka Siemens MS S65, ktorá má až tri 32 bitové procesory. Jednotka zvláda 20 miliónov operácií za sekundu čím niekoľko násobne prekonáva doposiaľ používané riadiace jednotky v divízii M. Prostredníctvom spínača môže vďaka tomuto systému meniť režim z komfortného na športový. [44]

Na Obrázok 37 je porovnanie motora BMW S85B50 so súdobou konkurenciou od automobilky Audi modelu S6, ktorý mal rovnako V10 motor s objemom 5.2 litra. Ako je vidieť na Obrázok 37, motor BMW dosahuje značne vyššieho výkonu a to aj napriek nižšiemu zdvihovému objemu motora. Krútiaci moment motora je zanedbateľne nižší o 20 Nm, avšak reálna spotreba BMW je o 2 litre benzínu vyššia na 100 km. Zrýchlenie z 0-100 km/h dosahuje motor v BMW M5 za 4,1 sekundy, kde Audi zaostáva iba o necelých päť desiatin, avšak pri zrýchlení z 0-200 km/h je to už viac než 4 sekundy. [29]



Obrázok 37: BMW M5 (modrá farba); Audi S6 (zelená farba)

## 3.6 VIDLICOVÉ 12-VALCOVÉ MOTORY

### 3.6.1 MOTOR N73 V12

Dvanásť-valcový benzínový motor N73 bol prvýkrát uvedený na trh v roku 2003 a nahradil tak predchádzajúci M73 v modeloch BMW rady 7. Bola to posledná generácia 12-valcových

atmosférických motorov automobilky. Existoval v dvoch variantách, ktoré sa líšili objemom valcov teda odlišným zdvihom a vrtaním, ako je vidieť v Tabuľka 3. Motor z objemom 6.7 litra nebol použitý vo vozidle značky BMW ale u značky Rolls-Royce, ktorá ale patrí pod automobilku BMW a vozidlo Rolls-Royce Phantom ho používa dodnes. [46]



Obrázok 38: N73 [47]

Agregát sa drží usporiadania s dvoma 6-valcovými radami, ktoré zvierajú uhol 60°. Toto rozloženie má výhodu vďaka prirodzene vyváženému chodu radového šesťvalca. Táto voľba uhlu medzi jednotlivými radami je najvhodnejšia, pretože sú zotrvačné sily a momenty v rovnováhe, čiže nie je potrebná zložitá konštrukcia kľukového hriadeľa alebo nutnosť pridania vyvažovacích hriadeľov. Poradie zážihu je rozdelené 1-7-5-11-3-9-6-12-2-8-4-10, ktoré taktiež prispievajú k vyváženému chodu motora. Novinka použitá v tomto motore bolo priame vstrekovanie paliva v spolupráci, ktoré spoločne s plynulým premenlivým zdvihom ventilov VALVETRONIC dopomohlo k zníženiu spotreby a hladšiemu chodu oproti predchádzajúcej verzii M73. Palivo je vstrekované pod tlakom od 50 do 120 barov. [46]

Konštrukcia motora je vyrobená z hmotnostne úsporných hliníkových zliatin veko ventilov a sacie potrubie je vyrobené z AluSilu, čo je zliatina horčíku a hliníku. Kľuková skriňa je jednodielna a celá kompletne vyrobená zo zliatiny AluSil. Steny valcov sú ukončené leptaním, ktoré zahŕňa leptanie tenkej hliníkovej vrstvy zo steny valca tým sú odkryté kryštály kremíku ktorý potom tvorí veľmi pevnú plochu pre pohyb piestov. Hmotnosť agregátu je 280 kg, v čom s porovnaním s konkurenciou BMW mierne zaostáva. Vďaka veľmi pokrokovému systému mazania s použitím originálnych olejov stačí meniť olej v priebehu 30-40 tisíc kilometrov o objemu nádrže 8,5 litra. Zaujímavosťou je aj vodou chladený alternátor. [46], [47]

Tabuľka 3: Verzie motora N73 [48]

Označenie	Objem [cm <sup>3</sup> ]	Vrtanie [mm]	Zdvih [mm]	Výkon [kW]	Krútiaci moment [Nm]	Rok	Kompresný pomer
N73B60	5972	89	80	327	600	2003-2008	11:1
N73B67	6749	92	84,6	338	720	2003-	11:1

Ako je uvedené v Tabuľke 3 maximálny výkon motora je 327 kW pri 6000 otáčkach za minútu a krútiaci moment 600 Nm pri 3950 ot./min avšak v širokom rozmedzí otáčok od 1500 až do koncových 6000 je dosiahnutých 500 Nm. Takéto vysoké hodnoty výkonu sú pri celkovej spotrebe vozidla iba 13,4 litra na 100 kilometrov bezkonkurenčné a tu predbieha aj ostatných konkurentov, kde napríklad v preplňovanom motore Mercedesu S600 s nižším objemom 5,5 litra je spotreba vyššia takmer dva litre na sto kilometrov. K nízkej spotrebe dopomáha už spomenutý systém VALVETRONIC, ktorého zdvih sacích ventilov sa pohybuje od 0,3 mm do 9,85 mm. A motor je tiež vybavený premenlivým časovaním ventilov systémom VANOS, ktorý taktiež dopomáha k splneniu emisných noriem. [46]

### 3.6.2 MOTOR N74 V12

Atmosféricky plnený motor N73 bol nahradený aj vďaka súčasnému trendu preplňovania benzínových agregátov 12 valcovým motorom N74 vybaveným dvojicou turbodúchadiel. Varianta N74B60 má totožné hodnoty zdvihového objemu, vrtania a zdvihu ako predchodca N73B60, avšak výkon spoločne s krútiacim momentom stúpol vďaka dvojici mono-scroll turbodúchadiel až na 400 kW a 750 Nm. Kompresný pomer dosahuje hodnoty 10,0:1 a zapalovanie je v poradí 1-7-5-11-3-9-6-12-2-8-4-10. [49]



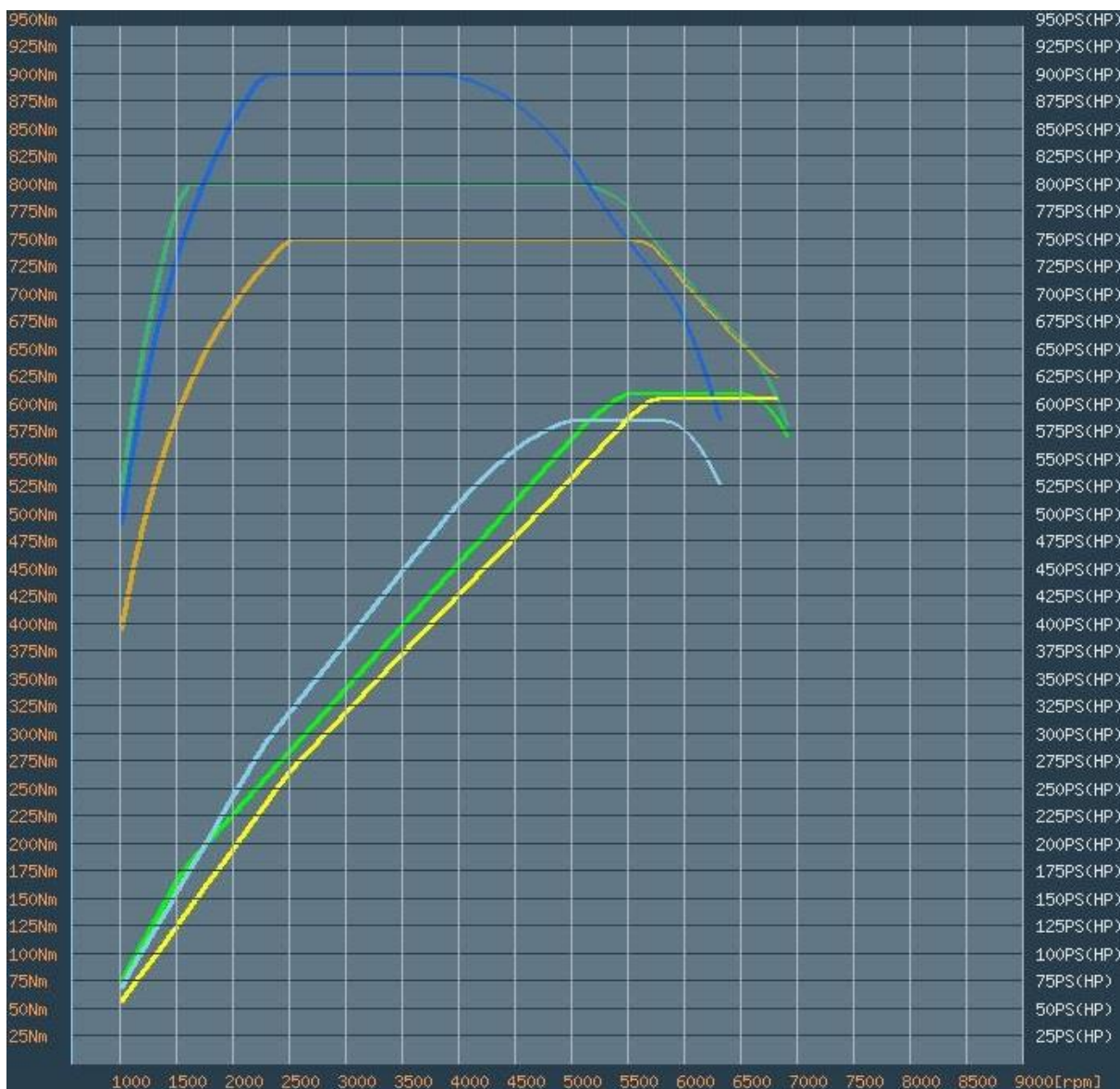
Obrázok 39: N74 V12 [49]

Z konštrukčného hľadiska je motor veľmi podobný svojmu predchodcovi s drobnými úpravami hlavne z hľadiska riešenia tvaru výfukových zvodov a sacieho potrubia kvôli už spomenutému preplňovaniu. Kľuková skriňa je vyrobená ako väčšina motorov BMW zo zliatiny hliníku a horčíku. Vnútri kľukovej skrine boli použité oddelené kanáliky, aby vracali olej späť z hlavy valcov a ventilácie kľukovej skrine, aby sa redukovalo množstvo oleja dostávajúceho sa do výfukových plynov. Kľukový hriadeľ bol kovaný s vytvrdenými jazdnými plochami a kovanými ojnicami. [49]

Motor obsahuje technológiu Double-Vanos, avšak absentuje tu premenlivý zdvih Valvetronic, čo znamená, že sacie ventily majú pevný zdvih 8,8 mm a výfukové 8,6 mm. Vačky sú špeciálne upravené aby sa dosahovalo čo najlepšieho nasávania vzduchu a výfuku spalín. Každý rad valcov v motore je vybavený turbodúchadlom Garrett od spoločnosti Honeywell, ktoré zvyšuje tlak v sacom potrubí o 0,7 baru. Preplňovanie je regulované cez obtokový kanál Wastegate ventilom riadeným jednotkou DME. Elektronicky riadená škrtiaca klapka

dopomáha systému preplňovania s usmerňovaním množstva vzduchu ktoré vchádza do kompresorovej časti motoru. Začlenené sú taktiež tzv. blow-off ventily, ktoré sú používané pri vysokých hodnotách nechceného množstva vzduchu. [49]

Okrem 6,0 litrového agregátu bol do najnovšej série vozidla BMW M760i vložený 6,6 litrový N74B66 s výkonom až 448 kW a krútiacim momentom 800 Nm. Vo výsledku tieto hodnoty zabezpečili zrýchlenie automobilu z 0-100 km/h za 3,6 sekundy, čo je pri hmotnosti necelých 3 ton veľmi dobrý výsledok. Pre porovnanie, motor BMW N74B66 s konkurenčným Mercedes-Benz S 63 AMG a Audi S8 Plus zaostáva oproti konkurencii v reálnej spotrebe, ktorá je takmer o 2 litre vyššia ako je u konkurenčných vozidiel. To je dôsledok vyššej hmotnosti vozidla, avšak tá mu nebráni sa chovať pružne ako konkurenčné vozidlá s nižšou hmotnosťou. Avšak z hľadiska výkonu dosahuje najvyššej hodnoty, keďže Mercedes dosahuje výkonu 430 kW a Audi 445 kW. Porovnanie výkonnostných kriviek je vidieť na Obrázok 40.



Obrázok 40: BMW M760Li ( zelená farba ); Mercedes-Benz S 63 AMG ( modrá farba ); Audi S8 Plus ( žltá farba )

## 4 HYBRIDNÉ A VODÍKOVÉ AGREGÁTY BMW

### 4.1 VODÍKOVÝ POHON

Aj napriek používaniu elektromobilov a plug-in hybridných vozov automobilka BMW rozmyšľa nad novými riešeniami akým je vodík ako palivo. V súčasnosti je hlavným palivom dopravy ropa, ale automobilky dnes už vyrábajú a predstavujú aj rôzne elektrinou poháňané automobily a hybridné vozy. Charakteristika elektrického motoru je pre automobily ideálna. Rýchlo reagujú, sú tiché, účinnejšie a pružnejšie než spaľovacie motory. Problémom ale je ako k nim dostať elektrinu. Súčasnú akumulátory sú príliš ťažké na to, aby si automobil mohol so sebou viesť zásobu a ich nabíjanie je veľmi zdĺhavé. A práve jednou z ciest, ako do automobilu dostať viac energie, než sú schopné súčasné akumulátory, je vodík. Toto palivo je možné spaľovať v relatívne málo upravenom zážihovom spaľovacom motore, avšak to sa ukazuje ako slepá ulička. Do roku 2007 sa vyrábalo niekoľko limuzín – model BMW Hydrogen 7, ktoré vedeli spaľovať popri benzíne aj vodík. Na druhú stranu, určitou nevýhodou vodíku v zrovnaní s benzínom je jeho energetická hustota. Jeden liter vodíku obsahuje len približne desatinu energie obsiahnutej v jednom litri benzínu, čo platí pre vodík skladovaný v kvapalnom stave pri teplote  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V plynnom skupenstve v tlakových nádobách je množstvo obsiahnutej energie ešte nižšie. Celkovú bilanciu len čiastočne kompenzuje vyššia účinnosť palivového článku, ktorá v súčasnosti u vývojových prototypov dosahuje 45 až 65 % podľa úrovne zaťaženia (zážihový motor približne 35 %).



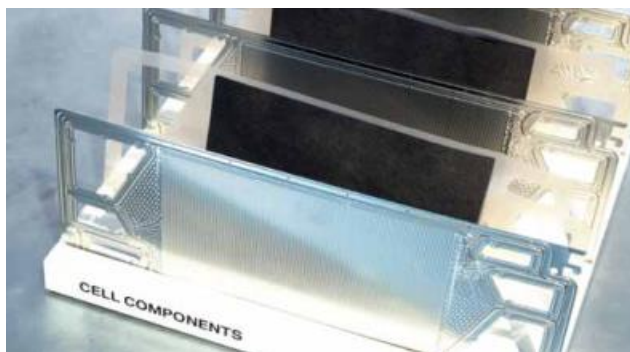
*Obrázok 41: Vývojový prototyp vodíkového palivového článku má veľkosť súčasného osemvalca a hmotnosť približne 250 kg*

Zatiaľ sa zdá, že automobilová budúcnosť má meno palivový článok, anglicky označovaný ako Fuel Cell (FC). Ide o zariadenie, ktoré je schopné z vodíku vytvárať elektrickú energiu,

ktorá je následne používaná elektromotormi pre pohon automobilu. V tzv. nízko-teplotných palivových článkoch je palivom väčšinou vodík, ktorý sa vo vnútri vozu skladuje v špeciálnych nádržiach a je možné ho doplniť behom pár minút, podobne ako v súčasných automobiloch benzín či naftu. [50]

#### 4.1.1 PRINCÍP VODÍKOVÉHO PALIVOVÉHO ČLÁNKU

Palivový článok je zariadenie, ktoré pri elektromechanickej reakcii premieňa chemickú energiu na elektrickú. Celý palivový článok je tvorený 200 až 400 jednotlivými článkami. Každý z nich sa skladá z dvoch elektród, medzi ktorými je polymérna jednosmerná membrána, ktorá prepúšťa iba protóny. Pre zahájenie chemickej reakcie je prítomný tiež katalyzátor vo forme malého množstva platiny. Vodík je v každom z článkov privádzaný na anódu, kde sa vďaka katalyzátoru rozdelí na protóny a elektróny. Protóny následne prejdú membránou a elektróny musia absolvovať vo forme elektriny cestu na druhú stranu článku cez spotrebič. Ku katóde je privádzaný čerstvý vzduch dodávajúci kyslík pre chemickú reakciu, pri ktorej dôjde ku spojeniu dvoch atómov vodíku a jedného atómu kyslíku – tým vzniká voda  $H_2O$ . [50]



*Obrázok 42: Jeden palivový článok medzi dvojicou plechových stien, medzi ktorými je vždy umiestnená polopriepustná membrána (čierna). Otvory po stranách slúžia pre zásobovanie článkov vodíkom a vzduchom. [50]*



*Obrázok 43: Vytváraný palivový článok s výkonom 100 kW pracuje s napätím 370 V a je tvorený 370 jednotlivými článkami. Životnosť v automobile sa počíta na 5000 hodín. [50]*

#### 4.1.2 POUŽITIE V AUTOMOBILOCH

BMW oznámilo v roku 2013 spoluprácu so značkou Toyota, ktorá je zameraná na vývoj technológií a napr. aj dodávku vznetrových motorov BMW do vozov Toyota. V roku 2015 sa ukázala ďalšia oblasť spolupráce týchto dvoch značiek, a to vo vývoji komponentov pre budúce sériové vozy poháňané palivovými článkami. Celý modulárny systém zahŕňajúci samotné palivové články, nádrže, hnacie ústroje, výkonovú aj riadiacu elektroniku by mal byť pripravený do roku 2020. Toyota vyvíja samotný palivový článok, ktorý sa neustále zdokonaľuje a BMW má na starosti uloženie palivových článkov, vodíkové nádrže, elektromotory a akumulátory. BMW plánuje tento pohon zaradiť pod kapotu vozidiel s označením BMW i. Vzhľadom k tomu, že tento druh automobilov je navrhnutý na dlhé cesty, očakáva sa, že pôjde o sedan s optimalizovanou aerodynamikou, ktorý bude mať nosnú štruktúru vyrobenú z uhlíkových kompozitov. Aj preto sa často hovorí o modeli BMW i5, ktorý by sa mal vkliniť medzi elektrické i3 a plug-in hybridný i8. [50]

V rámci predstavenia projektu vývoja technológií palivových článkov ukázalo BMW dvojicu aktuálnych prototypov. Tieto prototypy majú karosérie BMW rady 5 Gran Turismo, a to z dôvodu ich veľkosti. Do menších vozov by sa zatiaľ všetky potrebné systémy nevošli. Oba vozy majú rovnaké hnacie ústrojenstvo, ale rôzne systémy uchovania vodíku. V oboch prípadoch sa aktuálne pracuje na získaní homologácie pre cestnú prevádzku. Zadné kolesá poháňa elektromotor s výkonom 180 kW (245 k), ktorý zaisťuje najvyššiu rýchlosť 180 km/h a zrýchlenie z 0 na 100 km/h za 8,4 s. V jednom prípade je umiestnená nádrž, v ktorej je vodík v kryogénnom stave pod tlakom 350 bar, v druhom v plynnom skupenstve pod tlakom 700 bar, čo je v súčasnosti priemyselný štandard. V prvom uvedenom prípade činí dojazd na jedno tankovanie približne 700 km. Naplnenie tejto nádrže približne 7,5 kg vodíkom trvá päť minút a prakticky sa nelíši od bežného tankovania benzínu alebo plynu CNG. Samotná vodíková nádrž váži 160 kg, palivový článok 250 kg a hmotnosť celého prototypu presahuje dve tony. S ďalším vývojom sa preto počíta s odľahčením celej hnacej sústavy. Podobne ako je tomu s elektromobilmi, infraštruktúra vodíkových čerpacích staníc je ešte málo rozvinutá. Obecne sa počíta s ich rozsiahlym rozširovaním, kedy by ich počet v nasledujúcich desiatich rokoch mal byť vo vyspelých zemiach osemnásobný. [50]

## 4.2 BMW i3 A i8

Charakteristickým rysom BMW i3 je pohon zadných kolies, ktorý zaisťuje elektromotor o výkone 125 kW (170 k) umiestnený medzi zadnými kolesami, kde býva štandardne diferenciál. Paket lithium-iontových akumulátorov je zas umiestnený pod podlahou vozu. Jedná sa nielen o bezpečné umiestnenie, ale aj o výhodnú pozíciu z pohľadu nízkeho ťažiska. Akumulátory s kapacitou 35 kWh sa zo štandardnej elektrickej zástrčky nabijú za 6 hodín, existuje však možnosť ich naplnenia na kapacitu 80 percent behom jednej hodiny s pomocou rýchlonabíjačky. Achillovou pätou elektromobilov býva dojazd. BMW i3 reálne na jedno nabitie zvládne vzdialenosť 130 až 160 km, pričom v normovanom cykle vykazuje teoretický dojazd 225 km. Z 0 na 100 km/h dokáže zrýchliť behom 7,9 s, čo je čas, ktorý prekonáva napr. BMW 320i. Akceleráciu pritom tento voz zvládne za pôsobivých 3,9 s. Najväčšia rýchlosť je obmedzená na 150 km/h, čo je dané aj tým, že BMW i3 má jednostupňovú prevodovku. [51]

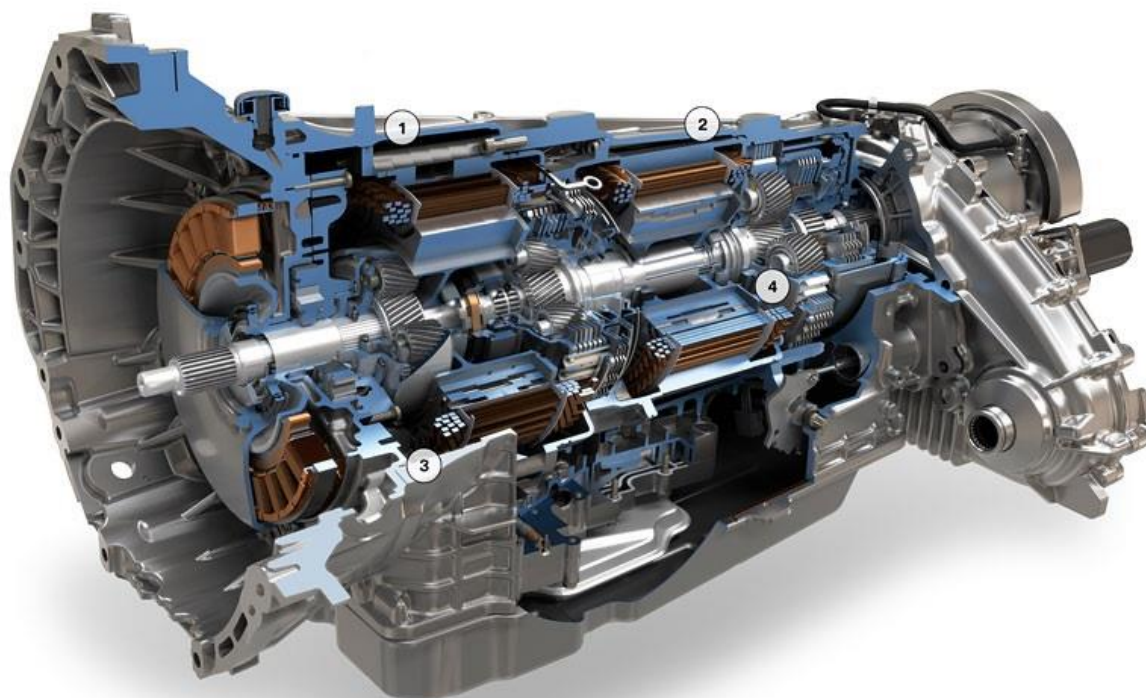
BMW i8 má mnoho spoločných rysov s modelom i3, avšak model i8 sa vyznačuje unikátne koncipovaným hybridným pohonom. Zadné kolesá tohto vozu poháňa pred nimi umiestnený zážihový preplňovaný motor 1,5 litra s výkonom 164 kW (220 k) a točivým momentom 300 Nm. Pre prednú nápravu je pripravený elektromotor poskytujúci 96 kW (130 k) a točivý moment 250 Nm. Celkovo je teda k dispozícii 260 kW (350 k) a 550 Nm, ktoré zaisťujú zrýchlenie z 0 na 100 km/h behom 4,6 sekúnd. Najvyššia rýchlosť dosahuje hodnotu 250 km/h. Celá hnacia sústava je prepojená riadiacou elektronikou, ktorá volí aktuálny tok energií podľa jazdnej situácie. Ako zásobník elektriny slúžia lithium-iontové akumulátory umiestnené v stredovom tuneli medzi sedadlami. BMW pre tento model použilo elektromotor, ktorý je konštrukčne zhodný s elektromobilom i3, má však iba znížený výkon. Ide o elektromotor vyvinutý a vyrábaný priamo u BMW a vyznačuje sa špeciálnou geometriou usporiadania magnetov, ktorá zaisťuje stabilitu motoru aj vo vysokých otáčkach. Súčasťou predného elektromotoru je okrem diferenciálu tiež dvojestupňová mechanická automatizovaná prevodovka. Použitý koncept hnacej sústavy má okrem prínosov v oblasti efektivity tiež tú schopnosť, že BMW i8 je vozom s elektronicky riadeným pohonom všetkých kolies, a teda pri jazde čisto na elektrinu sa stáva i8 prvým BMW s predným pohonom. Automobil BMW i3 je schopný v kombinovanom cykle merania spotreby dosiahnuť teoretickej kombinovanej hodnoty 2,7 l/100 km. K tomu značne prispieva elektromotor, ktorý je sám o sebe schopný

poháňať automobil do vzdialenosti približne 35 km, a tým je certifikovaný ako bezemisný automobil. [51], [52] V reálnych testoch sa ukázala však spotreba ako veľmi nereálna a často sa vyšplhala na 8 l/100 km.

### 4.3 BMW ACTIVEHYBRID X6

BMW ActiveHybrid X6 je na rozdiel od BMW ActiveHybrid 7 full-hybrid, prvý svojho druhu, aký BMW priviedlo na trh. Základom je opäť preplňovaný vidlicový osemvalec 4,4 Turbo s 300 kW medzi 5500 a 6400 min<sup>-1</sup> a 600 Nm medzi 1750 a 4500 min<sup>-1</sup>. Motor nemá konvenčný štartér, alternátor ani hnací remeň pre pohon kompresoru klimatizácie alebo hydraulického čerpadla posilňovače riadenia. Naopak pribudli zmeny na systéme chladenia samotného motoru. Nízкотеплотný okruh používaný pre chladenie stlačeného vzduchu turbodúchadlami, chladí tiež výkonovú elektroniku.

Spaľovací motor je spojený so sedemstupňovou hybridnou prevodovkou a dvomi elektromotormi. Dvojrežimová aktívna prevodovka pracujúca ako ECVT (electric continuously variable transmission) disponuje režimom prispôbeným pre rozjazd a pomalú jazdu a druhým diaľničným režimom pre rýchlu jazdu.



Obrázok 44:1. Elektrický motor A (67 kW), 2. Elektrický motor B (63 kW), 3. Elektrické čerpadlo oleja, 4. 7-rýchlostná planétová prevodovka [53]

Pri rozjazde pracuje iba jeden z elektromotorov. Akonáhle sa automobil rozbehne a vodič prišliapne pedál plynu, zapojí sa druhý elektromotor. Ten naštartuje spaľovací motor a ďalej funguje ako generátor elektrickej energie. BMW ActiveHybrid X6 je full-hybrid, a tak zvláda

jazdu iba na elektromotor. Najvyššia rýchlosť na čisto elektrický pohon je 60 km/h, kapacita akumulátorov vystačí pri nižších rýchlostiach najviac na dráhu dlhú 2,5 km.

Pri jazde s vyššou rýchlosťou zaisťuje väčšinu hnacej sily spaľovací motor a jeden z elektromotorov pracuje ako generátor. Mechanická väzba v rámci dvojrežimovej aktívnej prevodovky je zabezpečená tromi planétovými súkollami. Dva režimy elektromotorov sú doplnené a rozšírené siedmimi pevne nastavenými prevodovými stupňami.

Elektromotory, podporujúce spaľovací motor v činnosti v celom jeho otáčkovom pásme, majú výkon 63 kW a 67 kW, krútiaci moment vrcholí hodnotou 260 Nm a 280 Nm. Vzájomné interakcie hnacích jednotiek riadi riadiaca jednotka. Výkon celého hybridného systému činí 357 kW, krútiaci moment 780 Nm. BMW ActiveHybrid X6 sa tak stáva najsilnejším hybridným SUV a aj najsilnejším full-hybridom, prekonávajúcim v absolútnych hodnotách aj hybridné vozidlá značky Lexus. Akcelerácia z 0 na 100 km/h trvá len 5,6 s, najvyššia rýchlosť je 250 km/h a kombinovaná spotreba dosahuje 9,9 l/100 km.

Akumulátorová sada NiMH článkov je umiestnená pri zadnej náprave, má kapacitu 2,4 kWh a maximálny výkon 57 kW. Optimálnu teplotu silno sa zahrievajúcich komponentov reguluje dvojokruhový systém chladenia. Chladiace médium v kvapalinovom okruhu je chladené vo výmenníku s okolitým vzduchom a prípadne aj chladením z klimatizácie, podľa aktuálnych prevádzkových podmienok. Vo vozidle sú dva elektrické okruhy, vysokonapäťový a nízkonapäťový (12 V). Prepojenie týchto okruhov zabezpečuje menič.

Trakčné elektromotory môžu pracovať tiež v generátorovom režime. Vítanou funkciou je elektrické brzdenie o výkone až 50 kW s rekuperáciou energie. Elektromotory dokážu brzdiť vozidlo so spomalením až  $3 \text{ m/s}^2$ , čo šetrí ako palivo (energia sa uloží v akumulátoroch a následne použije pre akceleráciu), tak aj klasický brzdový systém. Pre zaistenie funkcie podtlakového posilňovača bŕzd aj keď nie je spaľovací motor dlhšie v činnosti bolo vo vozidle inštalované podtlakové čerpadlo. Súčinnosť mechanického a elektrického brzdenia je riadená elektronicky. [53]



Obrázok 45: 1. Ni-MH akumulátor, 2. Kvapalinové chladenie pre akumulátor [53]

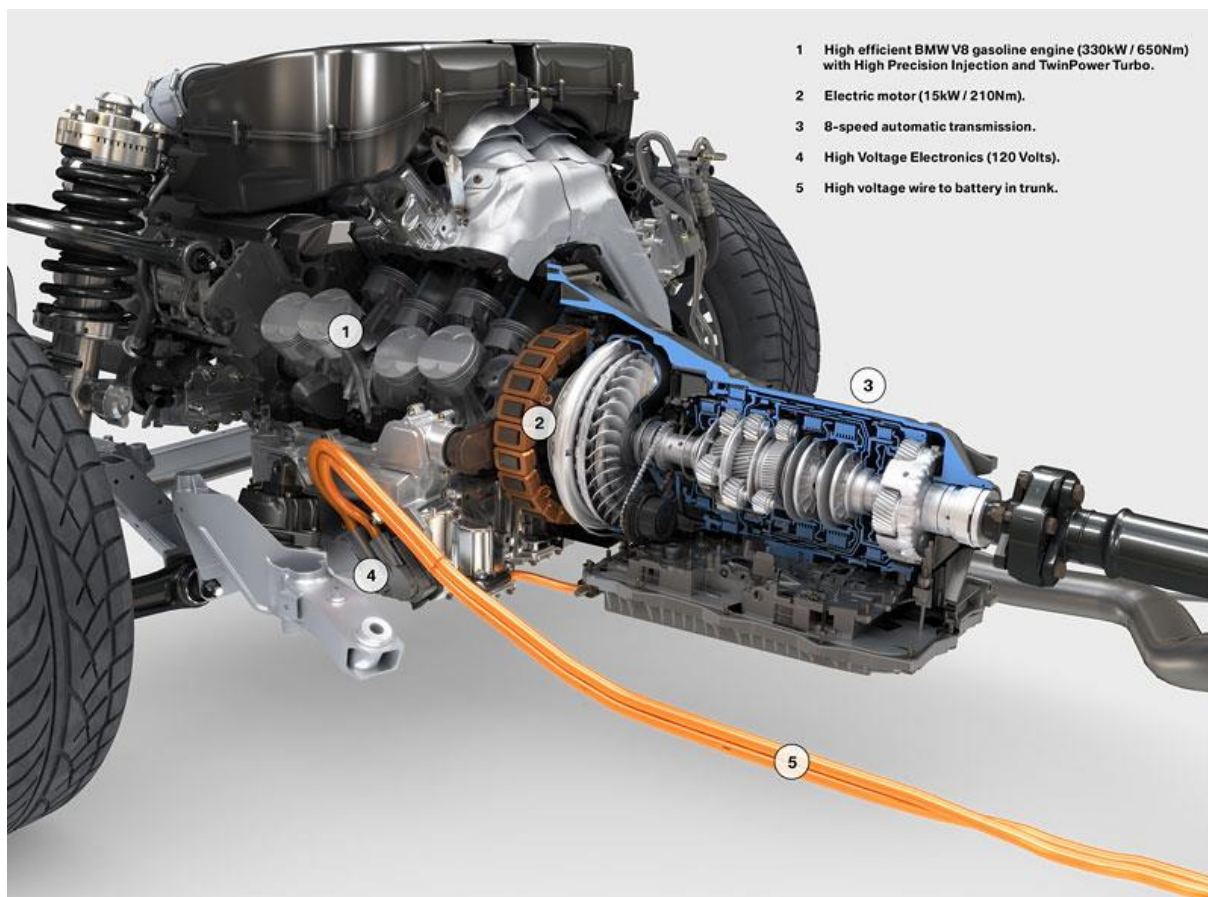
Tabuľka 4: BMW ActiveHybrid X6 vs. BMW X6 xDrive50i [53]

Model	ActiveHybrid X6	BMW xDrive50i
Motor	4.4 turbo + 2 el. m.	4.4 turbo
Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]	4395	4395
Valce/ventily	8/4	8/4
Najvyšší výkon [kW/min]	357/-	300/5500-6400
Točivý moment [Nm/min <sup>-1</sup> ]	780/-	600/1800-4500
Max. rýchlosť [km/h]	250	250
Zrýchlenie 0-100 km/h [s]	5,6	5,4
Komb. spotreba [l/100 km]	9,9	12,8
Pohotovostná hmotnosť [kg]	2450	2190

#### 4.4 BMW ACTIVEHYBRID 7

Hybridná sústava použitá v BMW ActiveHybrid 7 sa zaradzuje medzi tzv. mild hybridy. Automobil teda nemôže byť poháňaný výhradne elektrickou silou, elektromotor má len pomocnú funkciu, má vykrývať prevádzkové režimy, v ktorých má objemný spaľovací motor nízku účinnosť a vysokú spotrebu alebo produkciu emisií.

Trojfázový synchronný elektromotor je v BMW ActiveHybrid 7 umiestnený medzi spaľovací motor a hydrodynamický menič osemstupňovej automatickej prevodovky. Malé rozmery a hmotnosť len 23 kg uľahčili jednoduchú integráciu do hnacieho ústrojenstva, ktoré je v ponuke aj bez elektrickej časti v modeli 750i.



- 1 High efficient BMW V8 gasoline engine (330kW / 650Nm) with High Precision Injection and TwinPower Turbo.
- 2 Electric motor (15kW / 210Nm).
- 3 8-speed automatic transmission.
- 4 High Voltage Electronics (120 Volts).
- 5 High voltage wire to battery in trunk.

Obrázok 46: Pohonná jednotka hybridného vozidla BMW ActiveHybrid 7 (1. Motor BMW V8, 2. Elektrický motor, 3. 8-stupňová automatická prevodovka, 4. Vysokonapäťová elektronika, 5. Vysokonapäťový vodič na batériu) [54]

Elektromotor má najvyšší výkon len 15 kW, v generátorovom režime potom 20 kW, ktorými dobíja lítiový akumulátor. Najvyšší krútiaci moment je 210 Nm. Celkový systémový výkon hybridnej sústavy je 342 kW, krútiaci moment potom 700 Nm. Samotný osemvalec disponuje 330 kW medzi 5500 a 6000 ot./min, krútiaci moment vrcholí pri 650 Nm medzi 2000 a 4500 ot./min BMW ActiveHybrid 7 zvláda európsky jazdný cyklus absolvovať so spotrebou 9,4 l/100 km čo je o celé dva litre paliva menej ako u konvenčnej verzii BMW 750i.

Ďalší vývoj systému Brake Energy Regeneration inštalovaného u všetkých štvorvalcových BMW s manuálnou prevodovkou vyústil vo funkcii rekuperácie brzdenj energie ako generátora. V ňom je pri brzdení najprv aplikované čisto elektrické brzdenie, prípadne kombinácia elektrického a mechanického brzdenia. Riadenie tohto automatického procesu má na starosť jednotka DSC (Dynamic Stability Control). Podľa výrobcu nebude vodič pri jazde schopný rozpoznať prechod medzi oboma druhmi brzdenia.

V BMW ActiveHybrid 7 sú inštalované dva elektrické okruhy. Štandardný 12 V a vysokonapäťový 120 V. Do neho je zapojený kompaktný lítiový akumulátor (hmotnosť 27 kg, rozmery 37 x 22 x 23 cm) umiestnený v zadnej náprave. Akumulátor, ktorého kapacita činí len 400 Wh, je umiestnená na mieste dodatočného kompresora ventilácie zadných sedadiel. Energia skladovaná v lítiovom akumulátore je využívaná k hladkému štartu spaľovacieho motora, čo sa podľa BMW deje veľmi rýchlo a bez vibrácií, ktoré by rušili posádku.

BMW ActiveHybrid 7 zvláda vďaka spojeniu osemstupňovej automatickej prevodovky s elektromotorom aj automatické vypínanie spaľovacieho motora, vtedy keď nie je jeho beh potrebný, teda najčastejšie pri státi vozidla na križovatkách a v kolónach. [54]

Tabuľka 5: BMW ActiveHybrid 7 vs. BMW 750i [54]

Model	ActiveHybrid 7	750i
Motor	4.4 turbo + 2 el. m.	4.4 turbo
Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]	4395	4395
Valce/ventily	8/4	8/4
Najvyšší výkon [kW/min]	342/-	300/5500
Točivý moment [Nm/min <sup>-1</sup> ]	700/2000-4500	600/1750-4500
Max. rýchlosť [km/h]	250	250
Zrýchlenie 0-100 km/h [s]	4,9	5,2
Komb. spotreba [l/100 km]	9,4	11,4
Pohotovostná hmotnosť [kg]	2045	1945

## 5 SPÔSOBY ZNIŽOVANIA EMISÍ A SPOTREBY

V poslednej dobe sú všetci výrobcovia automobilov pod veľkým tlakom, ktorý ich má prinútiť k podstatnému zníženiu znečisťovania ovzdušia škodlivými zložkami obsiahnutými vo výfukových plynch motora. [55] Emisná norma EURO stanovuje limitné hodnoty výfukových exhalácií. Obmedzuje tak množstvo oxidu uhoľnatého (CO), uhlíkov (HC), oxidov dusíku (NO<sub>x</sub>) a množstvo pevných častíc (PM). Limitné normy sa udávajú v miligramoch na prejdený kilometer. [56] Okrem znižovania produkcie toxických látok sa automobilky zaviazali aj k znižovaniu oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), ktorý je škodlivý ako odpadná tepelná energia, alebo inak povedané prispieva ku globálnemu otepľovaniu skleníkovým efektom.

BMW Group patrí medzi automobilky, ktoré začali riešiť záležitosť znižovania skleníkových plynov komplexne vypracovaním programu EfficientDynamics. Ako už bolo uvedené, táto koncepcia účinnej dynamiky zahŕňa mnoho riešení, znižujúcich spotrebu paliva a tým pádom aj znižovanie množstva emisií ale zároveň zvýšenia výkonu vozidla. Medzi tieto patria technológie spomenuté v kapitole 1 ako je vysokotlakové priame vstrekovanie HPI alebo systém VALVETRONIC, ktoré aktívne prispievajú k zníženiu spotreby paliva. Technológie zlepšujúce efektívnosť motora spoločne s ostatnými riešeniami programu EfficientDynamics ako sú aerodynamické úpravy vozidla alebo znižovanie hmotnosti ako celku dosahujú zníženie CO<sub>2</sub> až o 20 %. [55]

### 5.1 VYUŽITIE ODPADOVÉHO TEPLA

Okrem toho, že automobilka využíva energiu výfukových spalín na preplňovanie motoru turbodúchadlom, pracuje aj na iných konceptoch a riešeniach, ktoré by zvýšili účinnosť motoru. V oblasti rekuperácie tepla zo spalín je firma BMW priekopníkom a v súčasnosti sa venuje hlavne systémom s premenou tepelnej energie na elektrickú (Sebeckov jav) alebo priamo na mechanickú energiu (Rankin-Clausiov cyklus). Napriek obrovskému boomeru elektromobilov sa snaží automobilka BMW stále zdokonaľovať konvenčné spaľovacie motory a zvyšovať ich efektívnosť.

BMW v roku 2009 predstavila na svetovom kongrese SAE International (Society of automotive Engineers) analýzu dvoch konfigurácií Rankin-Clausiovoho cyklu, ktoré boli použité na termodynamické využitie tepelného systému pre 4-valcový spaľovací motor. BMW na základe výsledkov meraní došlo k záveru, že odpadné teplo môže poskytnúť o 10 % vyšší výkon hlavne pri jazde po diaľnici alebo ustálenou rýchlosťou mimo mesta. Základom systému je aby pracovná látka, kvapalina o vysokom tlaku ktorej je dodávané teplo, generovalo prehriatu paru a premieňala ju na mechanickú energiu. BMW vo svojej štúdií popisuje dva základné systémy okruhov. Prvá využíva ako zdroj teplo obsiahnuté vo výfukových plynch a druhá je kombinácia tepla výfukových plynov a chladiacej kvapaliny. Ako pracovné látky boli použité kvapaliny s vysokou hodnotou výparného tepla. Na základe ich štúdií zistila automobilka, že pre prvý systém je najvhodnejšia pracovná látka voda a pre druhý etanol. [57]

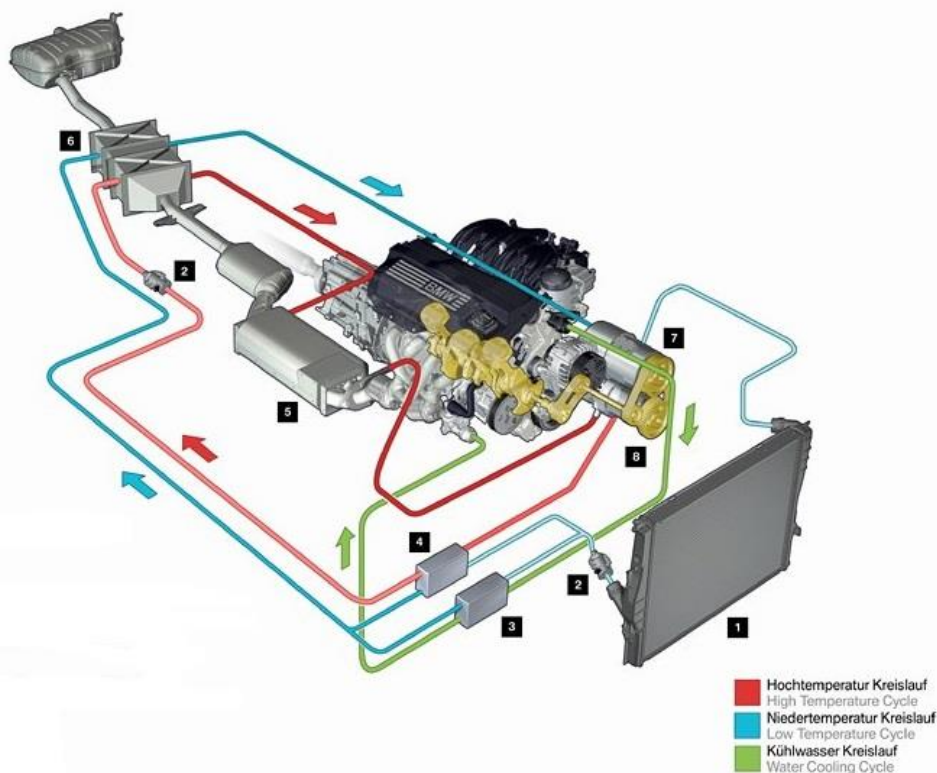
#### 5.1.1 TURBOSTEAMER

Turbosteamer je systém, ktorý má vyrábať elektrickú energiu pomocou princípu parnej turbíny. BMW začalo túto myšlienku realizovať už v roku 2005, avšak dodnes sa nevyskytla v žiadnom sériovo predávanom modeli. Prototypy sú zatiaľ testované v laboratóriách, kde sa kladie dôraz hlavne na zmenšovanie rozmerov a zjednodušenie celého systému. Je otázne

kedy sa tento systém, a či vôbec dostane do sériovo predávaného modelu. Úspora na spotrebe paliva pre štvorvalcový motor by mala dosahovať 1,5 litra na 100 kilometrov jazdy, zároveň nárast výkonu o 10 kW a krútiaceho momentu o 20 Nm. [58]

Toto zariadenie pracuje s dvoma tepelnými okruhmi, a to vysokoteplotnom a nízokoteplotnom. Ako pracovná látka je kvapalina vo vysokoteplotnom okruhu menená na paru pomocou tepla obsiahnutého vo výfukových plynoch. Primárnym zdrojom energie je teda vysokoteplotný okruh, ktorý prechádza výmenníkom umiestneným vo výfukovom potrubí tesne za motorom. Čerpadlo je schopné vytvoriť tlak až 40 bar a prehriať paru až na 550 °C. Vyrobená para smeruje do expandéru a ten je pripojený priamo na kľukový hriadeľ motoru. Týmto spôsobom je možné využiť až 80 % energie obsiahnutej vo výfukových plynoch. V nízokoteplotnom okruhu sa nachádza etanol, ktorý je stlačovaný druhým čerpadlom a teplota tu dosahuje 105 °C pri tlaku 3 bar. Vďaka zaradeniu priechodu výmenníkom na konci výfukového potrubia teplota v nízokoteplotnom okruhu stúpne asi na 150 °C a para dosiahne dost energie k pohonu druhého expandéru, ktorý taktiež pomáha roztáčať kľukový hriadeľ. Automobilka tvrdí, že tento systém dokáže zvýšiť účinnosť motora až o 15 %. [58] To je rapidný nárast účinnosti motora, a preto je tento systém veľmi perspektívny do budúcnosti. Okrem BMW Group pracujú na vývoji podobných systémov aj iné automobilky ako je Honda, ktorá zlepšila tepelnú účinnosť motora o 3,8 %, [57] čo je dobrý výsledok, avšak ani zďaleka nedosahuje hodnoty 15 % v prípade úspešného projektu od BMW.

Na Obrázok 47 nižšie je zobrazená schéma parnej turbíny a jej organizácia v motore. Červenou farbou je zobrazený vysokoteplotný okruh, modrou nízokoteplotný a zelenou farbou je vodou chladený systém.



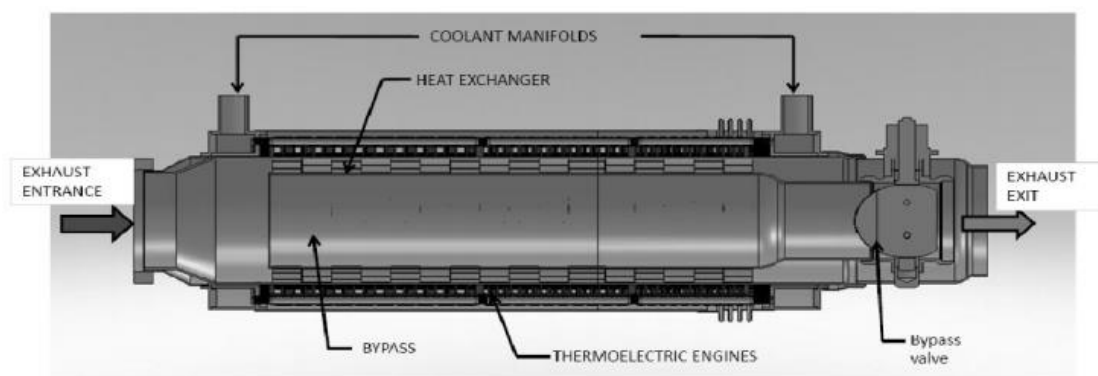
Obrázok 47: Turbosteamer (1. Chladič/Nízokoteplotný kondenzátor, 2. Čerpadlo, 3. Parný generátor, 4. Parný generátor/Vysokoteplotný kondenzátor, 5. Prehrievač, 6. Parný generátor/ Nízokoteplotný prehrievač, 7. Nízokoteplotný expander, 8. Vysokoteplotný expander [58]

### 5.1.2 TERMoeLEKTRICKÝ GENERÁTOR (TEG)

Firma BMW pripravuje ako jediná európska automobilka v rámci programu EfficientDynamics systém TEG. Prototyp termoelektrického generátora umiestnili konštruktéri BMW pod kapotu rady 5 umiestnením v podlahovej časti vozidla. Aby neboli ovplyvnené charakteristiky spaľovacieho motoru bolo nutné upraviť prietokové prierezy výfukového potrubia. Systém TEG by mal doplniť systém rekuperovania brzdovej energie, ktorý dobíja akumulátor behom jazdy zotrvačnosťou motora alebo pri brzdení. [59]

Termoelektrické generátory majú pre použitie v automobile mnoho výhod ako je nízka citlivosť na otrasy, nízka hlučnosť systému, a čo je hlavné neprodukujú žiadne škodlivé emisie. [59] Napriek tomu, že sa výskum automobilových termoelektrických generátorov stretáva s množstvom problémov, je veľmi pravdepodobné, že budú uvedené na trh. Zatiaľ čo prvá generácia vyvíjaných generátorov má za úlohu zmenšiť alebo skrátiť dobu aktivity alternátora a ušetriť minimálne 5 % paliva, tá ďalšia má alternátor úplne nahradiť. [60]

Prvý krát predviedla automobilka systém TEG v roku 2008, ktorý dosahoval výkon zhruba 200 W. Neskôr v roku 2011 generátor umiestnený v BMW X6 dosahoval výkon 600 W. Elektrizácia je vyrábaná pomocou termočlánkov, ktoré premieňajú teplo na elektrickú energiu priamo vďaka Sebeckovmu javu. [61] Tento jav je založený na vzniku elektrického napätia medzi dvoma koncami vodiča s rozdielnou teplotou. Najväčšie rozdiely teplôt, a teda najväčšia hodnota napätia vzniká u polovodičových materiálov, ktoré sú zároveň lepšie spracovateľné. [59] Zatiaľ čo tento typ generátoru bol umiestnený vo výfukovom potrubí prišla BMW aj s druhou verziou. Druhý typ systému je určený pre EGR, je schopný výkonu asi 250 W a pomáha znižovať emisie CO<sub>2</sub> zhruba o dve percentá. Systém TEG je schopný pomáhať pri studených štartoch vykurovaniu interiéru. [61]



Obrázok 48 : Konštrukcia TEG použitého v BMW X6 [57]

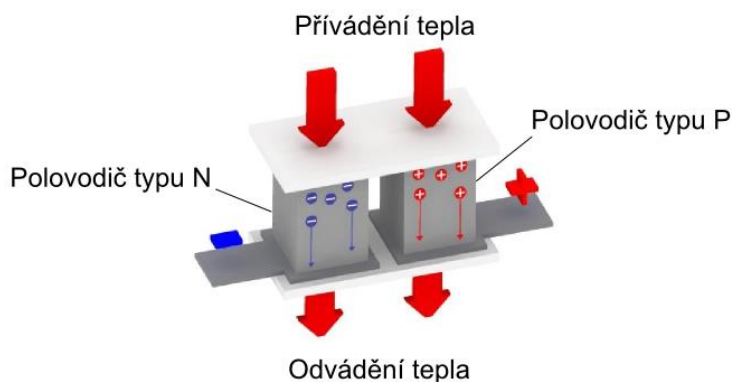
Pre použitie v praxi je však dôležitá účinnosť termoelektrického generátora. Účinnosť TEG závisí na fyzikálnych vlastnostiach použitého termoelektrického materiálu, ktoré je možné vyjadriť činiteľom termoelektrickej akosti.

$$ZT = \frac{G \cdot S_K^2}{\lambda} \cdot T \quad (1)$$

Hodnota ZT závisí na Sebeckovom koeficiente ( $S_K$ ), ktorý je špecifický pre každý materiál, na elektrickej vodivosti ( $G$ ) a tepelnej vodivosti ( $\lambda$ ) materiálu a je najväčší pri teplote  $T = 300 \text{ K}$  ( $27 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Pri tejto teplote je činiteľ termoelektrickej akosti ZT bežných materiálov približne 1, čo je príliš málo na to, aby sa využívanie odpadného tepla ekonomicky vyplatilo.

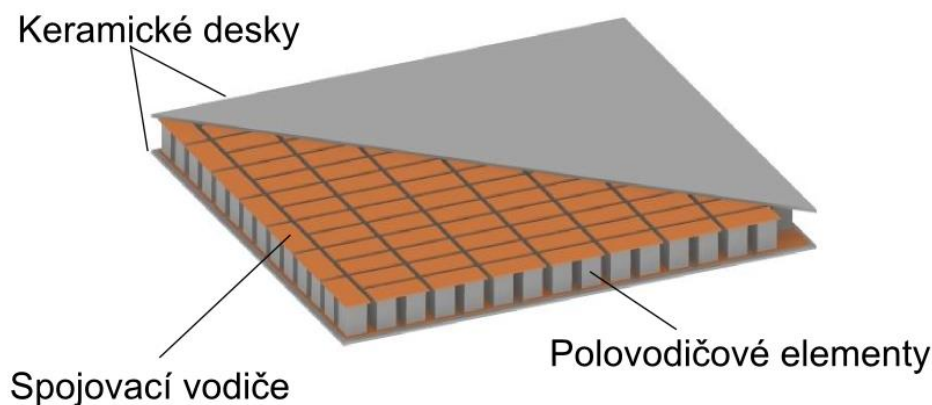
Odborníci pracujú preto na vývoji termoelektrických materiálov s vyššou hodnotou  $ZT$ . Takýto materiál musí mať vedľa veľkého Seebeckovho koeficientu malú tepelnú vodivosť a súčasne veľkú elektrickú vodivosť. [59]

Termoelektrické zariadenia sú tvorené polovodičovým prechodom p-n. Ak je na prechod p-n privedené teplo dochádza v polovodičoch typu N k pohybu elektrónov a v type P k pohybu kladných dier. Medzi koncami týchto polovodičov vzniká rozdiel potenciálov a teda napätie. Ak sa uzavrie vytvorený obvod, dochádza prietoku elektrického prúdu. [60]



Obrázok 49: Termoelektrická dvojica polovodičov typu P a N [59]

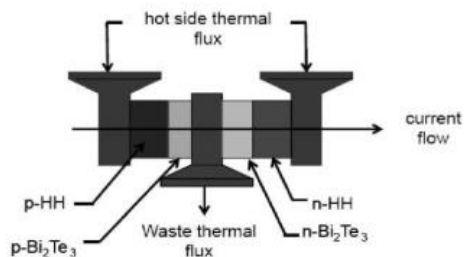
Aby bolo dosiahnuté väčšej hodnoty napätia sú dvojice spájané elektricky do série, z hľadiska prestupu tepla paralelne a tvoria tzv. Termoelektrické moduly.



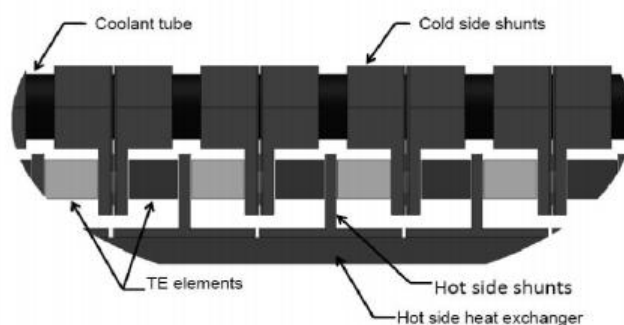
Obrázok 50: Termoelektrický modul [59]

TEG má špeciálnu konštrukciu, je tvorený 500 kusmi termočlánkov usporiadaných do stagu. Týchto 500 článkov bolo rozdelených do troch teplotných oblastí TEG (vysokoteplotná oblasť, oblasť stredných teplôt a nízokoteplotná oblasť). Ako materiály boli použité Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> a Half Häuslerove zliatiny. Konštrukcia TEG je zložená z dvoch valcov vložených do seba. Priestor medzi nimi je vyplnený rebrami z nerezovej ocele oplášťovanými med'ou, pričom tieto rebrá zaisťujú prívod tepla na teplú stranu článkov. Vnútorňý valec slúži ako obtokový kanál proti vzniku spätného tlaku splodín a prehrievaniu. Termočlánky sú na tepelnom výmenníku zafixované medenými objímkami, ktoré sú elektricky odizolované od tepelného výmenníka.

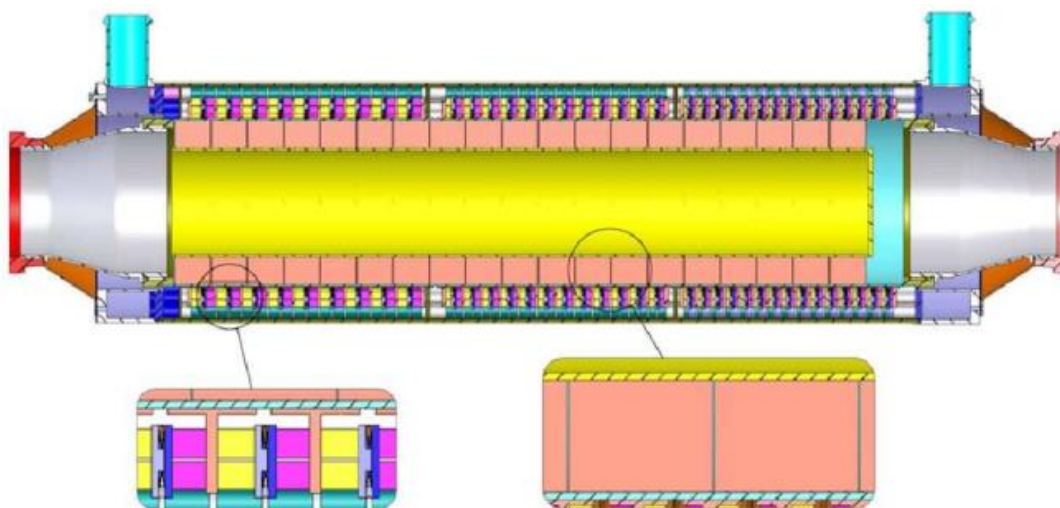
Chladienie článkov je zaistené hliníkovými trubicami s cirkulujúcou chladiacou kvapalinou. Celková váha TEG je 10,5 kg. Na meracej stoličnici bolo dosiahnuté pri teplote teplej strany 600 °C a teplote studenej strany 20 °C, výkonu 608 W. Pri meraní generátora inštalovaného na testovacích vozidlách BMW bol nameraný výkon 450 W. [57]



Obrázok 51: Termoelektrický článok usporiadaný do stagu [57]



Obrázok 52: Uloženie Termoelektrických článkov [57]



Obrázok 53: Konštrukcia TEG BMW a uloženie Termoelektrických článkov medzi tepelným výmenníkom a chladiacimi trubicami [57]

## 5.2 FUNKCIA ŠTART/STOP

Systém Štart/Stop vyvinula spoločnosť Bosch ako svoj príspevok ekonomickejšej a ekologickejšej prevádzky vozidiel. Systém Štart/Stop dokáže vypnúť spaľovací motor v prípade kľudového stavu vozidla, teda v prípade, že motor beží naprázdno (napríklad v dopravnej zápche alebo pri státi vozidla na červenú). Ak chce vodič pokračovať v jazde, stačí stlačiť spojkový pedál a motor znova automaticky naskočí. Na použitie funkcie Štart/Stop vytvorili vývojári firmy BOSCH špeciálny štartér. Životnosť tohto štartéra bola výrazne predĺžená. Štartér dostal výkonnejší elektromotor a má tichší chod. [62]

Pre správnu a bezproblémovú funkciu je potrebná súhra niekoľkých zariadení a snímačov. Najprv riadiaca jednotka motora skontroluje či sa motor nachádza v stave chodu naprázdno, či sú kolesá v stave pokoja a či batéria disponuje dostatočným množstvom energie pre opätovné naštartovanie motora. Ak áno, motor sa vypne. Aby mohlo vozidlo pokračovať v jazde, stačí ľahko stlačiť spojku a motor okamžite automaticky naštartuje, úplne potichu a spoľahlivo. [62]

Výhodou celého systému je zníženie spotreby paliva a produkcie emisií. Najviac sa prejaví výhody tohto systému pri jazde v hustej mestskej premávke. BOSCH uvádza zníženie spotreby paliva a emisií CO<sub>2</sub> (v závislosti na vozidle) až o 8 %. [62]

Podrobnejšie sa systému nie je potrebné venovať, pretože automobilka BMW nie je výnimočná v jeho používaní a dnes je takmer väčšina automobilov vybavená týmto systémom. Avšak musím zhodnotiť, že prínos systému je prinajmenšom diskutabilný. V mnohých prípadoch je vypnutie motora nevhodné, či už to je pri studenom motore alebo veľmi častom vypínaní a štartovaní motora. Takéto nevhodné správanie sa systému má dopad na životnosť motora. Mnoho užívateľov tento systém vypína aj napriek nižšej prakticky overenej spotrebe.

## 5.3 REKUPERÁCIA BRZDOVEJ ENERGIE

Program EfficientDynamics sa v plnej miere snaží využiť akúkoľvek odpadnú energiu. Jedným zo systémov obsiahnutých v programe je získavanie energie pri brzdení automobilu. Tento systém používa okrem BMW mnoho ďalších výrobcov. V princípe ide o to, že brzdová energia produkuje elektrinu a ukladá ju do akumulátora o zvýšenej kapacite. Táto energia je tak následne využívaná k pohonu obslužných systémov ako je vodné čerpadlo, posilňovač riadenia alebo klimatizácia. [63] V praxi je tento systém rekuperovania energie veľmi málo až vôbec účinný, a to napríklad vďaka nižšiemu dojazdu automobilu pri jazde z kopca, kedy automobil používa tento systém najviac.

## 6 BUDÚCNOSŤ BMW

Aj automobilka takého charakteru ako je BMW sa pridružuje k dramatickému znižovaniu spotreby paliva aby splnila prísne emisné normy EURO. A tak sa aj tradičné mníchovské modely začínajú postupne meniť. V budúcnosti vidí automobilka BMW najväčší potenciál v elektrickom a hybridnom pohone vozidiel tak ako pravdepodobne väčšina ostatných výrobcov automobilov. Spaľovací motor však z výroby neplánujú odstrániť avšak bude fungovať iba ako záložný generátor elektrickej energie. Tento spaľovací motor bude podľa inžinierov BMW bude pracovať iba 10 % celkového času prevádzky vozidla. Zmena nastane aj v použitých materiáloch ako sú kombinácie hliníku a tvrdených plastov s karbónovými vláknami. Okrem toho že chce znížiť emisie výmenou pohonnej jednotky, v bližšej dobe sa chce zamerať na zlepšenie aerodynamiky vozidiel, či znížiť valivý odpor. [64]

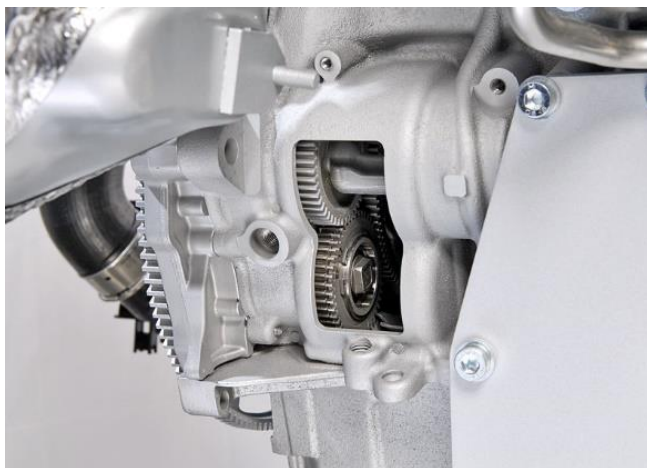
V blízkej budúcnosti (10-15 rokov) však automobilka neplánuje nijak zastaviť či spomaliť vývoj spaľovacích hlavne teda zážihových motorov. Najrozsiahlejšia zmena v pohonných jednotkách prišla s motormi s označením B v roku 2012, kde boli všetky valce navrhnuté s objemom jedného približne 0,5 litra. Motory majú zhodný odliatok hliníkového bloku motoru, kľukový mechanizmus či spôsob vytvrdzovania vnútorných stien valcov. Zaujímavosťou je, že vznětové motory zdieľajú so zážihovými až 40 % dielov a zhoda počtu dielov medzi 3 a 4 valcovými motormi je až 60 %. Automobilka však oznámila, že chystá úplne novú generáciu motorov. [32]

Cieľom vývoja automobilky je zvýšenie efektivity motora, a teda zvýšenie výkonu pri súčasnom znížení spotreby paliva. Zásadná zmena má nastať v unikátnom tvare valcov a novom hliníkovom bloku motoru. Namiesto konvenčného valca s konštantným priemerom budú mať nové motory mierne menšie vrtanie v hornej časti valca a väčšie v dolnej časti. Toto riešenie tvaru stien je reakcia na to, že vrchná časť je viacej namáhaná tepelne a silovo, a preto vznikajú väčšie vôle, zvyšuje sa trenie a vibrácie motora. Ako spôsob opracovania vnútorných plôch valcov sa používa metóda honovania s axiálnym pohybom honovacej hlavy doplneným o niekoľkonásobnú rotáciu. [32]



Obrázok 54: Nové usporiadanie systému Valvetronic [65]

Novo navrhnutý je aj systém chladenia a mazania. Vodné čerpadlo má dvojicu výstupov, a tým sú k dispozícii dva samostatné chladiace kruhy pre hlavu a blok motoru. Chladenie dien piestov bude uskutočňované rozstrikávaním oleja a bude sa zapínať podľa potreby. Nová generácia bude ako doposiaľ vybavená systémom Valvetronic a priamym vstrekaním paliva HPI s použitím vyšších tlakov až 35 MPa. Kvôli tak vysokým tlakom bolo potrebné prepracovanie ako palivového čerpadla, tak systému vedenia paliva. [32]



*Obrázok 55: Nový pohon vyvažovacích hriadeľov [32]*

Preplňovanie motorov bude samozrejmosťou u všetkých zážihových motorov. Časť výfukových zvodov bude integrovaná priamo do bloku motora a naň napojené turbodúchadlá budú vyrobené z ocele u výkonnejších motorov, avšak u menších trojvalcových agregátov bude turbínová skriňa vyrobená z hliníkových zliatin a vodným chladením. Beh motora budú rovnako ako u novších motorov rodiny B doladovať vyvažovacie hriadele. Systém ich usporiadania a pohonu bude však u novej generácie prepracovaný so zameraním na vyššiu účinnosť. Pohon vyvažovacích hriadeľov zaisťuje jednodielna rozvodová reťaz. Kompaktnejší je aj gumový remeň v tvare L pre pohon príslušenstva motora. [32]

## ZÁVER

V mojej bakalárskej práci sa venujem benzínovým motorom 21. storočia. Cieľom práce bolo popísať a zhodnotiť novodobý vývoj benzínových motorov značky BMW. Okrem detailného popisu jednotlivých pohonných jednotiek sa venujem aj moderným konštrukčným a zaujímavým inovatívnym riešeniam, ako je systém Valvetronic, Twin-Scroll turbodúchadlo, či vstrekovanie vody do sacieho potrubia. Záver práce je orientovaný viac na budúcnosť a pripravované riešenia automobilky, ktoré pomôžu ešte viac zvýšiť účinnosť motora a tým dosiahnuť nižšiu spotrebu paliva a emisií.

V prvej časti bakalárskej práce som sa venoval novodobým technológiám používaných v súčasných zážihových motoroch. Ako aj mnohé konkurenčné značky, tak aj BMW prešla na priame vstrekovanie paliva do spaľovacieho priestoru motora pod názvom HPI. Ako som zistil počas vypracovania tejto témy, tento systém vstrekovania paliva sa javí ako jedno z najúčinnějších riešení znižovania celkovej spotreby paliva až o 20 %. Avšak je treba podotknúť, že s príchodom tejto technológie vzniká väčšie množstvo pevných častíc, a tak je pravdepodobné, že v blízkej budúcnosti budú aj benzínové motory potrebovať DPF filter, ktorý je nielen neúčinný pri krátkych jazdách typických pre benzínové automobily, ale je to aj veľmi drahá súčiastka, ktorej životnosť nie je veľká. Systém Valvetronic sa ukázal ako jedno z tých najlepších riešení ako dosiahnuť pokojnejší chod motora, ktorý aj vďaka premenlivému zdvihu dokáže pracovať prirodzenejšie a znížiť spotrebu paliva o ďalších 12 %. Navyše systém Valvetronic plne nahradzuje škrtiacu klapku, čím sa znížia straty v sacom potrubí. Systém prešiel už tromi verziami a z vlastných skúseností je nutné podotknúť, že má svoje chyby, ako je krátka životnosť krokového motora v tomto systéme, alebo nižšia životnosť konštrukčných dielov. Veľmi zaujímavým riešením, ktoré BMW plánuje rozšíriť, je vstrekovanie vody do sacieho potrubia. Toto ochladzovanie valcov sa ukázalo ako veľmi účinné hlavne vo vysokých otáčkach a je otázne, ako bude tento systém účinný v bežnej premávke. BMW však touto technológiou sľubuje viac ako 5 % úsporu paliva a celkové zníženie vzniku emisií pri spaľovaní.

V druhej časti bakalárskej práce som preukázal, že motory BMW sú poctivo premyslené a s tým sú aj spojené výsledky, ktoré automobilka dosiahla a naďalej dosahuje. Porovnaním konkrétnych motorov s konkurenčnými značkami sa preukázalo, že BMW je stále svetovou jednotkou vo vývoji benzínových agregátov. Je však pravdou, že najnovšie preplňované verzie motorov nie sú až také výnimočné ako atmosférické motory používané do roku 2011. Skutočnosťou je, že stále patria medzi najviac oceňované a ich účinnosť je nepopierateľná. Celkovo napriek negatívnym reakciám mnohých priaznivcov BMW vidím preplňovanie benzínových motorov ako úspešný a nevyhnutný krok vpred.

V poslednej časti som dospel k názoru, že v budúcnosti bude najviac pohonných jednotiek poháňaných elektrickou energiou. V tejto časti som predstavil aj hybridné vozidlá značky BMW, v ktorých vidí automobilka veľký potenciál, avšak ešte ju čaká v tejto oblasti dlhá cesta, keďže dojazd niektorých automobilov na elektrickú energiu, ako je napríklad BMW X6 ActiveHybrid dosahuje necelých 2,5 km. Okrem elektrifikácie vozidiel pracuje automobilka na systéme využitia energie odpadného tepla vo výfukových plynch a jej premeny priamo na mechanickú. Na tomto koncepte s názvom Turbosteamer pracuje automobilka už od roku 2005 a je to prinajmenšom veľmi zaujímavý systém, ktorý by mohol zachrániť spaľovacie motory pred ich zánikom. To, či sa však tento systém objaví v nejakom sériovom vozidle, je však otázne. V tejto časti som popísal aj ďalšie zaujímavé riešenia ako je termoelektrický generátor, ktorý sa podľa môjho názoru začne postupne dodávať do všetkých

vozidiel BMW. Avšak jasný postup automobilky je známy iba v tom najužšom okruhu jej vedenia, a preto som sám zvedavý, aké inovácie automobilka BMW v budúcnosti vytvorí a ktorým smerom sa bude uberať.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SAJDL, Jan. HPI (*High Precision Injection*). In: Autolexicon [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/hpi-high-precision-injection/>
- [2] Technologie motorů v roce 2010 ve vozech BMW: Používané technologie: High Precision Injection (HPI). Autoperiskop [online]. 2010 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://autoperiskop.cz/technologie-motoru-v-roce-2010-ve-vozech-bmw/>
- [3] SAJDL, Jan. HPI (High-pressure *Petrol* direct-injection). In: Autolexicon [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/hpi-high-pressure-petrol-direct-injection/>
- [4] 2007 NG6 Engines Workbook: N54 Engine. Bimmerpost: *bimmerfest* [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.bimmerfest.com/forums/attachment.php?attachmentid=521947&d=1438016687>
- [5] More performance with less consumption Series production of piezo direct gasoline injection about to begin. Siemens: *billswespace* [online]. Vienna, 2006 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: [http://billswespace.com/SV\\_200604\\_002\\_e.htm](http://billswespace.com/SV_200604_002_e.htm)
- [6] Princíp činnosti – vstřikovače: Piezoelektrické vstřikovače. Turbo-tec: *Akademie* [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.turbo-tec.eu/cz/princip-cinnosti-vstrikovace/>
- [7] STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 4th ed. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012. ISBN 9780230576636.
- [8] SAJDL, Jan. Valvetronic. In: Autolexicon [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/valvetronic/>
- [9] ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 3: Motory*. Brno: Avid, Avid. ISBN 9788087143025.
- [10] RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. Brno, 2004. Studijní opory. VUT FSI.
- [11] VANOS/Double-VANOS. The international BMW website [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/vanos\\_double\\_vanos.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/vanos_double_vanos.html)
- [12] FOKT, Michal. BMW chystá svolávací akci na systém časování Vanos. In: *Auto* [online]. 2014 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-chysta-svolavaci-akci-system-casovani-vanos-80225>
- [13] SAJDL, Jan. Variabilní časování ventilů. In: Autolexicon [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/variabilni-casovani-ventilu/>
- [14] SAJDL, Jan. Vanos (Double-Vanos). In: Autolexicon [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/vanos-double-vanos/>

- [15] Electronic throttle butterfly control. The International BMW website [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/electronic\\_throttle\\_butterfly\\_control.html?source=index&article=electronic\\_throttle\\_butterfly\\_control](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/electronic_throttle_butterfly_control.html?source=index&article=electronic_throttle_butterfly_control)
- [16] Automotive fuel and emissions control systems. In: SlideShare [online]. 2016 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/GLADIADORVASCO/automotive-fuel-and-emissions-control-systems-60582784>
- [17] Digital Motor Electronics (DME). The international BMW website [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/digital\\_motor\\_electronics.html?source=index&article=digital\\_motor\\_electronics](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/digital_motor_electronics.html?source=index&article=digital_motor_electronics)
- [18] FORMÁNEK, Vojtěch. Vstříkování vody do motoru jde do série, zřejmě ho dostane BMW M4 GTS. In: Autohit [online]. 2015 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.autohit.cz/novinky/128587-vstrikovani-vody-do-motoru-jde-do-serie-zrejme-ho-dostane-bmw-m4-gts>
- [19] VOKÁČ, Luděk. Do BMW budete tankovat vodu. *Její* vstříkování zvýší výkon motoru. In: Idnes: auto [online]. MAFRA, a. s., 2015 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: [http://auto.idnes.cz/bmw-vstrikovani-vody-0tf-automoto.aspx?c=A150226\\_220033\\_automoto\\_vok](http://auto.idnes.cz/bmw-vstrikovani-vody-0tf-automoto.aspx?c=A150226_220033_automoto_vok)
- [20] H2O jde do série. BMW revue [online]. 2015, (3-4), 109 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: [http://www.bmwrevue.cz/archiv\\_pdf/1111\\_maketa-bmw-3-4\\_2015.pdf](http://www.bmwrevue.cz/archiv_pdf/1111_maketa-bmw-3-4_2015.pdf)
- [21] FLAIG, Florian. Voda namísto benzínu: Inovace od firmy Bosch snižuje spotřebu paliva až o 13 procent. In: Bosch cz [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://press.bosch.cz/detail.asp?f\\_id=1350](http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=1350)
- [22] Water injection. Bosch mobility solution [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.bosch-mobility-solutions.com/en/highlights/powertrain-and-electrified-mobility/water-injection/>
- [23] BMW Engine Codes. TurnerMotorsport [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.turnermotorsport.com/t-BMW-Engine-Codes>
- [24] SMITH, Eric. BMW B38 Engine. In: Australiancar.review [online]. b.r. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [http://australiancar.reviews/bmw\\_B38.php](http://australiancar.reviews/bmw_B38.php)
- [25] BEDNÁŘ, Marek. 10 klíčových koncepcí motorů: jaké mají výhody a nevýhody?. In: Autoforum [online]. MotorCom s.r.o., 2015 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/10-klicovych-koncepci-motoru-jake-maji-vyhody-a-nevyhody>
- [26] NICA, Gabriel. I8's B38 Engine Will Have Biggest Specific Output for any BMW. In: Autoevolution [online]. 2013 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <https://www.autoevolution.com/news/i8-s-b38-engine-will-have-biggest-specific-output-for-any-bmw-66254.html>

- [27] Continental Supplies World's First Turbocharger with Aluminum Turbine Housing in Cars. In: Continental press portal [online]. 2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [http://www.continental-corporation.com/www/pressportal\\_com\\_en/themes/press\\_releases/3\\_automotive\\_group/powertrain/press\\_releases/pr\\_2014\\_07\\_15\\_turbocharger\\_en.html](http://www.continental-corporation.com/www/pressportal_com_en/themes/press_releases/3_automotive_group/powertrain/press_releases/pr_2014_07_15_turbocharger_en.html)
- [28] LÁNIK, Ondřej. BMW a PSA Peugeot Citroën představili nový přeplňovaný čtyřválec 1,6 l. In: Auto [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., 2004 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-a-psa-peugeot-citron-predstavili-novy-preplnovany-ctyrvalec-1-6-l-16367>
- [29] ZAL, Pawel. Automobile catalog: comparison. b.r. ISBN 978-83-931772-0-2. Dostupné také z: [http://www.automobile-catalog.com/auta\\_cmp2.php](http://www.automobile-catalog.com/auta_cmp2.php)
- [30] BMW X1 xDrive28i: První turbo-dojmy. In: Auto [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., 2011 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-x1-xdrive28i-prvni-turbo-dojmy-56137>
- [31] BMW N20 Engine. In: WikiMotors [online]. 2015 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://mywikimotors.com/bmw-n20/>
- [32] HANKE, Petr. NOVÉ MOTORY BMW – Honba za účinností. In: Automobil: Technika [online]. Redakce Automotorevue, 2016 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/nove-motory-bmw-honba-za-ucinnost\\_45366.html#](http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/nove-motory-bmw-honba-za-ucinnost_45366.html#)
- [33] BMW B48 Four Cylinder Turbocharged Engines. In: The UnixNerd's BMW Domain [online]. b.r. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.unixnerd.demon.co.uk/b48.html>
- [34] SMITH, Eric. BMW N52 Engine. In: Australian Car.Reviews [online]. b.r. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: [http://australiancar.reviews/bmw\\_N52.php](http://australiancar.reviews/bmw_N52.php)
- [35] SMITH, Eric. The N54 Engine. In: Australian Car.Reviews [online]. b.r. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: [http://australiancar.reviews/bmw\\_N54.php](http://australiancar.reviews/bmw_N54.php)
- [36] SMITH, Eric. BMW N55 Engine. In: Australian Car.Reviews [online]. b.r. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: [http://australiancar.reviews/bmw\\_N55.php](http://australiancar.reviews/bmw_N55.php)
- [37] BOERIU, Horatiu. BMW's B58 engine among Wards' 10 Best engines for 2016. In: Bmwblog [online]. 2015 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.bmwblog.com/2015/12/11/bmws-n55-engine-among-wards-10-best-engines-for-2016/>
- [38] BMW 540i xDrive – Tohle je nejlepší velký sedan současnosti. In: Auto [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., 2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-bmw-540i-xdrive-tohle-je-nejlepsi-velky-sedan-soucasnosti-103922?cast=2-Motor,-jizdni-vlastnosti>
- [39] Eight-cylinder engines. The international BMW website [online]. b.r. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/eight\\_cylinder\\_engine.html?&&&source=index&article=eight\\_cylinder\\_engine](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/eight_cylinder_engine.html?&&&source=index&article=eight_cylinder_engine)

- [40] KONÍČEK, Ondřej. BMW X5 - nový motor 4.4 V8 Twin-turbo. In: Katalog automobilu [online]. 2008 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://clanky.katalog-automobilu.cz/396-bmw-x5-novy-motor-4-4-v8-twin-turbo/>
- [41] ROCKWELL, Ken. S65 M3 engine. In: Bimmerpost: m3post [online]. b.r. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.m3post.com/forums/showthread.php?t=781228>
- [42] BMW S65 Engine (S65B40). In: WikiMotors [online]. b.r. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://mywikimotors.com/bmw-s65/>
- [43] SMITH, Eric. BMW S65 Engine. In: Australiancar.reviews [online]. b.r. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://australiancar.reviews/bmw\\_S65.php](http://australiancar.reviews/bmw_S65.php)
- [44] Světová premiéra motoru V10 pro nové BMW M5. In: Auto [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., 2004 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/svetova-premiera-motoru-v10-pro-nove-bmw-m5-16853>
- [45] SMITH, Eric. BMW S85 Engine. In: Australiancar.reviews [online]. b.r. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [http://australiancar.reviews/bmw\\_S85.php](http://australiancar.reviews/bmw_S85.php)
- [46] LÁNÍK, Ondřej. Motory V12 (3. díl): BMW 6.0 V12. In: Auto [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., 2004 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/motory-v12-3-dil-bmw-6-0-v12-17029>
- [47] SMITH, Eric. BMW N73 Engine. In: Australiancar.reviews [online]. b.r. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://australiancar.reviews/bmw\\_N73.php](http://australiancar.reviews/bmw_N73.php)
- [48] BMW N73. Wikipedia [online]. b.r. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/BMW\\_N73](https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_N73)
- [49] SMITH, Eric. BMW N74 Engine. In: Australiancar.reviews [online]. b.r. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://australiancar.reviews/bmw\\_N74.php](http://australiancar.reviews/bmw_N74.php)
- [50] Palivo budoucnosti. BMW revue [online]. 2015, (3-4), 128-131 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: [http://www.bmwrevue.cz/archiv\\_pdf/1111\\_maketa-bmw-3-4\\_2015.pdf](http://www.bmwrevue.cz/archiv_pdf/1111_maketa-bmw-3-4_2015.pdf)
- [51] Skutečný náskok díky technologiím. BMW revue [online]. 2011, (3), 10-13 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: [http://www.bmwrevue.cz/archiv\\_pdf/941\\_maketa\\_bmw-3\\_11.pdf](http://www.bmwrevue.cz/archiv_pdf/941_maketa_bmw-3_11.pdf)
- [52] Pojízdna laboratoř. BMW revue [online]. 2013, (3) [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: [http://www.bmwrevue.cz/archiv\\_pdf/1031\\_maketa-bmw-revue-3\\_2013-fin.pdf](http://www.bmwrevue.cz/archiv_pdf/1031_maketa-bmw-revue-3_2013-fin.pdf)
- [53] LÁNÍK, Ondřej. BMW ActiveHybrid X6: V8 + 2 elektromotory = první německý full-hybrid. In: Auto.cz [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., 2009 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-x6-active-hybrid-4117>
- [54] LÁNÍK, Ondřej. BMW ActiveHybrid 7. In: Auto.cz [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER a.s., 2009 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-7-active-hybrid-4121>
- [55] BMW Group- Účinná dynamika. Automobil [online]. 2009, 09(04) [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: [http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/bmw-group-ucinna-dynamika\\_38360.html](http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/bmw-group-ucinna-dynamika_38360.html)

- [56] SAJDL, Jan. Emisní norma EURO. Autolexicon.net [online]. 2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [57] KŘIVÁK, PETR. Možnosti využití odpadního tepla výfukových plynů spalovacích motorů. Brno, 2012. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Marian Brázdil.
- [58] BMW Turbosteamer: návrat páry. Auto.cz [online]. 2005 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-turbosteamer-navrat-pary-14875>
- [59] Význam termoelektrických generátorů rychle roste. Elektro [online]. 2011, (04) [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/vyznam-termoelektricky-ch-generatoru-rychle-roste--9847>
- [60] BRÁZDIL, Ing. Možnosti využití termoelektrických jevů pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla. In: Tzb-info: energetika [online]. 2013 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektricky-ch-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>
- [61] Fyzika v praxi podle BMW. Parní turbíny a *elektrina* z tepla. Idnes.cz: auto [online]. MAFRA, a. s., 2011 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: [http://auto.idnes.cz/fyzika-v-praxi-podle-bmw-parni-turbiny-a-elektrina-z-tepla-p3a-/automoto.aspx?c=A110911\\_225827\\_automoto\\_vok](http://auto.idnes.cz/fyzika-v-praxi-podle-bmw-parni-turbiny-a-elektrina-z-tepla-p3a-/automoto.aspx?c=A110911_225827_automoto_vok)
- [62] SAJDL, Jan. Start/Stop. In: Autolexicon [online]. b.r. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/startstop/>
- [63] BMW Efficient Dynamics bude využívat i ztrátového tepla. *Autoforum* [online]. 2009 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/bmw-efficient-dynamics-bude-vyuzivat-i-ztratoveho-tepla/>
- [64] BUREŠ, David. Budoucnost BMW: Hlavní roli bude hrát elektromotor. In: *Auto* [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., 2015 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/budoucnost-bmw-hlavni-rol-i-hrat-elektromotor-85064>
- [65] BMW Twin Power Turbo – Modularita. In: *Automobil* [online]. Redakce Automotorevue, 2014 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/bmw-twin-power-turbo-modularita\\_43157.html](http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/bmw-twin-power-turbo-modularita_43157.html)