

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Udržitelná mobilita z pohledu pohonů vozidel

Autor: **Martin BUŇATA**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří Barták**

Akademický rok 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin BUŇATA**

Osobní číslo: **S15B0063P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**

Název tématu: **Udržitelná mobilita z pohledu pohonů vozidel**

Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Proveďte rešerši pohonů. Z dostupných informací zkuste predikovat vývoj v krátkodobém a střednědobém horizontu. Proveďte rešerši zvoleného pohonu. Na základě rešerše proveďte vlastní aplikaci uzlu pohonu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vývoj pohonů vozidel
2. Predikce vývoje pohonů vozidel
3. Rešerš zvoleného pohonu
4. Zhodnocení práce, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**STANĚK, J., NĚMEJC, J.** *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2005

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.** *Příručka strojího inženýra 1.* Brno: Computer Press, 1999

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Barták**  
Katedra konstruování strojů


Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Barták**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2018

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

**V Plzni dne:** .....

.....

**podpis**

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Jířímu Bartákovi za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost během konzultací pro vypracování bakalářské práce.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Buňata		Jméno Martin	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Dopravní a manipulační technika (DMTB)			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Barták		Jméno Jiří	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Udržitelná mobilita z pohledu pohonů vozidel			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	44	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	44	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce se zabývá udržitelností dopravy z pohledu pohonů. Podstatou teoretické části je popsání moderních technologií pro dosažení požadovaných parametrů, jako je výkon, spotřeba a emise. Na základě poznatků je v praktické části navržena koncepce hybridního řešení pohonu.</p>
<p><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>Pohon, vozidlo, motor, zdroj energie, spalování, paliva, vstříkávání paliva, přeplňování, katalyzátor, hybrid, elektromotor, spojka, převodovka</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Buřata	Name Martin	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Department of Machine Design (DMTB)		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Barták	Name Jiří	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Sustainable mobility and drives of vehicles		

<b>FACULTY</b>	Mechanical engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKS	<b>SUBMITTED IN</b>	2019
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 a ekvivalentů A4)

<b>TOTALLY</b>	44	<b>TEXT PART</b>	44	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULT AND CONTRIBUTIONS</b>	This bachelor thesis deals with sustainability of vehicles and their drives. The essence of the theoretical part consists of describing modern solutions in order to achieve required parameters such as power, consumption and emissions. Using this knowledge, a concept design of a hybrid vehicle is made in the practical part.
<b>KEY WORDS</b>	Drive, vehicle, engine, energy source, combustion, fuels, fuel injection, overcharging, catalyst, hybrid, electric motor, clutch, transmission

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Definice a rozdělení pohonů .....	2
2.1	Elektrický pohon.....	2
2.2	Spalovací pohon .....	3
2.3	Hybridní pohon.....	3
3	Převodovky vozidel.....	5
3.1	Manuální převodovky a spojka.....	5
3.2	Převodovky s hydrodynamickým měničem .....	5
3.3	Přímořazené převodovky .....	6
4	Akumulátory elektrické energie .....	7
4.1	Aplikace baterií ve vozidlech .....	7
5	Vozidla s elektrickým pohonem.....	8
5.1	Proč elektrické vozidlo? .....	8
5.2	Průzkum trhu .....	8
5.3	Elektrické motory .....	9
5.3.1	Volkswagen E-Golf.....	10
5.3.2	BMW i3.....	11
5.3.3	Tesla model S .....	12
5.4	Shrnutí průzkumu trhu elektrických vozidel .....	13
6	Spalovací pohony .....	14
6.1	Klíkový mechanismus spalovacích pohonů .....	14
6.1.1	Píst.....	14
6.1.2	Ojnice .....	14
6.1.3	Klíková hřídel.....	15
6.2	Termodynamické cykly spalovacích pohonů .....	15
6.2.1	Čtyřdobý cyklus spalovacího zážehového motoru.....	15
	.....	16
6.2.2	Čtyřdobý cyklus vznětových motorů .....	16
6.2.3	Ottův cyklus .....	16
6.2.4	Dieselův cyklus .....	16
6.2.5	Sabatův cyklus.....	17
6.2.6	Atkinsonův cyklus.....	17



6.3	Rozvodový systém, vačkový mechanismus .....	17
6.4	Mazání spalovacích motorů .....	18
6.5	Chlazení spalovacích motorů .....	18
6.6	Příprava palivové směsi .....	19
6.6.1	Sání moderních motorů .....	19
6.6.2	Přepřínování spalovacích motorů .....	20
6.6.3	Common-rail .....	20
6.6.4	Vstřikování zážehových motorů .....	21
6.6.5	Systém zpětného vedení spalin AGR/EGR .....	22
6.7	Katalytické systémy snížení emisí, DPF .....	22
6.7.1	DPF .....	22
6.7.2	Třícestný katalyzátor .....	23
6.7.3	Oxidační katalyzátor .....	23
6.7.4	Redukční katalyzátor .....	23
6.8	Emisní normy .....	23
6.9	Výkonové a momentové charakteristiky spalovacích pohonů .....	25
6.10	Provozní charakteristiky .....	26
6.11	Shrnutí .....	27
7	Hybridní pohony .....	28
7.1	Microhybrid .....	28
7.2	Mild-hybrid (MHEV) .....	28
7.3	Úplný hybrid .....	29
7.4	Shrnutí .....	29
8	Praktická část .....	30
8.1	Trasa .....	30
8.2	Měření provozní teploty .....	30
8.2.1	Měřená vozidla .....	30
8.2.2	Metodika měření .....	31
8.2.3	Vyhodnocení měření .....	31
8.3	Ekonomické porovnání zážehových a vznětových agregátů .....	32
8.3.1	Výpočet provozních nákladů .....	33
8.3.2	Vyhodnocení porovnání .....	34
8.4	Návrh hybridního pohonu .....	34

8.4.1	Koncepční návrh vznětového pohonu .....	34
8.4.2	Koncepční návrh elektropohonu .....	35
8.4.3	Implementace elektropohonu ke vznětovému motoru .....	36
8.4.4	Koncepce řízení hybridního systému .....	38
8.4.5	Implementace hybridního pohonu ve vozidle .....	39
9	Závěr.....	40
10	Použitá literatura .....	41
10.1	Knižní publikace .....	41
10.2	Publikace na internetu .....	41
10.3	Ostatní publikace .....	42
11	Seznam obrázků .....	43
12	Seznam tabulek .....	44

### Přehled použitých zkratk

rpm	-	Otáčky za minutu
L	-	Vzdálenost [m]
tkm	-	Tisíc kilometrů -
Kč	-	Korun českých
USD	-	Americký dolar
DSG	-	Přímořazená převodovka
NiCd	-	Nikl-kadmiový akumulátor
NiMH	-	Nikl-metal hydridový akumulátor
Li- Po	-	Lithium polymerový akumulátor
Li-ion	-	Lithium iontový akumulátor
P	-	Výkon [hp] / [W]
M	-	Moment [Nm]
p	-	Tlak [Pa]
V	-	Objem [l]
q	-	Teplo [W]
T	-	Teplota [°C]
U	-	Napětí [V]
t	-	čas [s]
AGR/EGR	-	System zpětného vedení spalin
DPF	-	Filtr pevných částic
MPi	-	Zážehový motor s vícebodovým vstřikováním
FSI	-	Zážehový motor
TSI	-	Zážehový motor s turbodmychadlem
SDI	-	Atmosferický vznětový motor
TDI	-	Vznětový motor s turbodmychadlem

# 1 Úvod

Parní stroj se stal symbolem průmyslové revoluce, neboť významně ulehčil a urychlil nákladní i osobní dopravu. Započal tak revoluci v dopravě a vydláždil cestu moderním pohonům. Parní lokomotivy dokázali jezdit pouze po vybudovaných tratích a jen v určitých časových intervalech. Začala tak stoupat poptávka po strojně poháněné osobní přepravě, z důvodu časové flexibility a mobility do oblastí, kde nebyla vybudována železniční trať.

Automobil nevyžadoval koleje, a pro provoz mu stačila cesta bez větších fyzických překážek. Uživatel nemusel čekat na jízdní řád, a pro osobní přesun se tak stal velmi populární.

S rostoucí oblibou kladou uživatelé stále větší požadavky na komfort, provozní náklady, rychlost a ekologii. Vývoj pohonů se tak stal nesmírně důležitý.

V dnešní době je automobil nedílnou součástí téměř každé rodiny. A svět okolo nás je bez těchto dopravních prostředků nepředstavitelný. Spalovací, hybridní i elektrické pohony zažívají za posledních pár dekad prudkou evoluci. Ta přinesla mnoho zajímavých a efektních technologií, jak dosáhnout přísných požadavků. Tyto zařízení dokáží snížit emise a spotřebu při zachování či dokonce nárůstu výkonu. Může se jednat o systém zpětné vedení spalin nebo například maximálně efektivní převodovky, s robotickým řazením. Těmto systémům je důležité porozumět, aby je bylo možné využít či vylepšit pro další evoluční kroky v oblasti pohonů.

Součástí této práce bude aplikace nabytých znalostí pro vlastní koncepční návrh pohonu, který bude splňovat požadavky udržitelnosti, a bude vyhovovat přísným standardům dnešní doby.

## 2 Definice a rozdělení pohonů

Pod pojmem pohon je možné si představit mnoho věcí. Od tažení vozu zvířetem, přes parní stroj umístěný v lokomotivě, který táhne zbytek kolejové soupravy po plavidlo poháněné elektromagnetickým zářením. S pojmem pohon se však nejčastěji v dnešní době setkáme ve spojení s vozidly, kde je pohon buď spalovací, elektrický nebo hybridní. Můžeme tedy vyslovit definici pro pohon, jako zařízení, které přeměňuje mechanickou, elektrickou nebo chemickou energii, na energii kinetickou, usměrněnou ve smyslu požadavků koncovým uživatelem. Takový stroj je opatřen souborem uzlů, zajišťující bezpečnou a bezproblémovou funkci celého zařízení

### 2.1 Elektrický pohon

Elektrický pohon je konstrukčně nejsnazší řešení v oblasti pohonů. Základním principem fungování je, jak je již z názvu zřejmé, přeměna elektrické energie na energii mechanickou. Pohonnému ústrojí, mluvíme-li o řízeném, postačují pro konání práce pouze 3 uzly. Jedná se o zdroj elektrické energie, nejčastěji se jedná o přímé napájení ze sítě nebo napájení pomocí akumulátoru.

Ve spojení s vozidly se u napájení ze sítě jedná o trolejový systém. V infrastruktuře měst, příměstských částí a výjimečně i meziměstských částí je rozvedeno takzvané trolejové vedení. Jedná se o vedení vodičů nad tramvajovým pásem, nebo přímo nad vozovkou, kde slouží pro napájení trolejbusů. Proud ze sítě je následně odebírán pomocí pantografů do dalších uzlů pohonu.

Druhým nejčastějším zdrojem energie pro elektrický pohon jsou akumulátory. Jedná se o zařízení uchovávající elektrickou energii k pozdějšímu odběru. Výhodou akumulátorového napájení je to, že umožňuje mobilitu vozidla do částí, kde to infrastruktura neumožňuje, je však nutné brát v úvahu kapacitu akumulátoru, tedy schopnost uchovávat určité množství elektrické energie.

Neméně důležitým uzlem jsou řídicí systémy. Jedná se o soubor prvků zahrnující výpočetní techniku, ovládací prvky a většinou grafický výstup. Jako výpočetní techniku je možné klasifikovat takzvanou řídicí jednotku. Jedná se o počítačový čip zajišťující regulaci pohonu na základě vstupních signálů z ovládacích prvků a snímacích zařízení v motoru, například z Hallových sond. Řídicí jednotka reguluje množství proudu a napětí přiváděného do samotného motoru. Dosahuje tím požadovaného chodu motoru, tedy otáčky výstupní moment a plynulý chod. Grafický výstup může být buď digitální, nebo analogový; operátor pohonu má pak přehled o již zmíněných parametrech, tedy proud, napětí, výkon, moment a otáčky.

Elektromotor je stroj, který přeměňuje přivedenou a regulovanou elektrickou energii na energii mechanickou. Základním principem fungování je působení dvou magnetických polí navzájem, což pak vytváří točivý moment. Z konstrukčního hlediska se jedná o velmi jednoduché zařízení s malým počtem součástí. Ve většině případů má motor pouze jednu pohyblivou část, která rotuje, tedy rotor.

Ze všech typů pohonů je elektrický pohon nejjednodušší, co se týče mechanických částí. Při správné konstrukci a dodržování předepsaného užívání by měl zaručit relativně dlouho

životnost. Největší nevýhodou, se kterou se dnes potýkají výzkumná střediska automobilových závodů, univerzit a nezávislých výzkumných center je optimalizovaný přívod elektrické energie. Trolejové vedení není možné vést všude, tam, kde je vozidlová mobilita potřebná a zároveň neumožňují pohyb vozidel mimo připravené tratě. Tento problém řeší akumulátory, ale ty jsou v aktuálním stádiu vývoje značně nekompaktní a zároveň v případě poruchy nebo nehody velmi nebezpečné.

## 2.2 Spalovací pohon

Jako nejdéle využívaný pohon zejména pro mobilitu osobních vozidel je pohon spalovací. V dnešní době jej využívá drtivá většina automobilů. V moderních vozidlech, tedy vozidlech, které můžeme klasifikovat jako roční či vyrobené do posledních let bývá však pomalu nahrazován hybridním systémem, nebo zcela elektrickým. Jedná se však především o vozidla v prémiovém sektoru. Ale i srdcem hybridního pohonu je právě agregát spalovací.

Spalovací motor pracuje na základě termodynamických cyklů, které jsou většině lidí známé již z hodin fyziky na středních školách či gymnáziích. Tyto cykly, ideální tepelné oběhy, popisují práci tepelných strojů, kterým ve vozidlech říkáme motory. Zážehový motor pracuje na základě Ottova cyklu. Vznětový motor pak pracuje na základě cyklu Dieslova. V dnešní době se cykly motorů velmi liší oproti těm, které známe třeba z 80. let; neboť se výrazně změnila technologie plnění.

Jak je již z názvu zřejmé, v těchto strojích dochází ke spalování paliva a pomocí vlastních mechanismů přeměňují chemickou energii na energii mechanickou. Nejčastějším palivem pro vznětový agregát je nafta, pro zážehový je to benzín. Tyto paliva však nejsou limitující a samotná definice paliv není jednoznačná. Motory mohou být konstrukčně a elektronicky upraveny na spalování alternativních paliv, jako je například stlačený zemní plyn (CNG) nebo zkapalněný zemní plyn (LPG).

Základní mechanismus je pro zážehový a vznětový motor stejný, jedná se o klikový mechanismus. Výjimku tvoří Wankelův motor, který využívá rotační píst.

Vývoj spalovacích pohonů zaznamenává v posledních letech velmi strmou revoluci, a to především ve smyslu zvyšování tepelné účinnosti. S tímto trendem však přichází významný nárůst složitosti systému, neboť oproti dřívějším motorům je dnes každý cyklus pečlivě propočítán řídicí jednotkou pro co nejefektivnější využití paliva. Ze snahy co nejpřesnější kontroly každé proměnné plyne i složitost mechanismů agregátů, a tím pádem se zvyšuje riziko poruchy a servisovatelnost se stává náročnější.

## 2.3 Hybridní pohon

Asi nejznámějším vozidlem s hybridním pohonem je Toyota Prius. Vůz disponoval relativně revolučním řešením ve smyslu kombinace elektrického a spalovacího pohonu. Tento vůz je vnímán velmi smíšeně, neboť se na jednu stranu jednalo o inovativní a moderní řešení, ukazující směr v blízké budoucnosti, zároveň však tento systém nebyl velmi dobře naladěn, a reálná efektivita systému byla přinejlepším na stejné úrovni jako soudobé spalovací agregáty. Zájemci sice v některých zemích dostávaly dotace na nákup vozu, cenou však zasahoval do prémiového segmentu. Tím pádem „přidaná hodnota za ekologii“ nebyla dostatečným ospravedlněním pro většinu zájemců a své kupce si vůz našel spíše z řad lidí, kterým velmi

záleželo na ekologii, a koupí nepřímo podporovali vývoj těchto pohonů, nebo motoristům kterým šlo o image.

V dnešní době je podíl hybridních pohonů v nabídkách automobilek znatelně vyšší, než například před deseti lety, momentálně je tento trend velmi populární u značek prémiového segmentu, tedy například Audi, BMW či Lexus.

Zapojení elektropohonu vůči spalovacímu pohonu se velmi zjednodušilo, což přineslo úsporu na hmotnosti a spotřebě materiálu, což má pozitivní dopad na ekologii vozu. Jelikož technologie postupují automobilkou či koncernem od nejvíce prémiových vozů po nejlevnější značky, lze předvídat, že tento trend budeme moct sledovat i u levnějších značek a vozů v průběhu příštích pár let.

### 3 Převodovky vozidel

Převodovka je nedílnou součástí každého vozu s hybridním nebo spalovacím pohonem, neboť otáčky spalovacího agregátu jsou v řádech tisíců, a nedokáží přenést dostatečný moment pro rozjetí automobilu. Spalovací motory, na rozdíl od elektrických musí být pro provoz v určitých otáčkách, kterým říkáme volnoběh, bývají okolo 550-850 rpm při provozní teplotě a v závislosti na typ motoru. Logickým krokem je tedy připojení zařízení, které umožní rozjezd, tedy spojky. [4], [16]

#### 3.1 Manuální převodovky a spojka

Manuální převodovky jsou k motoru spojeny přes jednolamelovou přitlačnou spojku, kterou ovládá obsluha vozidla pomocí pedálu určeného pro levou nohu. Spojka je přitlačována na setrvačnick motoru pomocí přitlačného talíře. Tento systém při správném užívání velmi robustní a nevyžaduje. Životnost se pak pohybuje mezi 200-300 tkm v závislosti na provozu. Pokud je vůz provozován v dálničním a meziměstském režimu, spojka je sepnutá a neopotřebovává se, životnost se pak pohybuje kolem horní hranice. Naopak pokud je vůz přetěžován a pohybuje se v terénu nebo výhradně po městě, může se životnost dostat i pod dolní hranici udávané životnosti. Servis pak probíhá výměnou takzvané spojkové sady, která obsahuje řadu komponent, které jsou náchylné k opotřebení jako například lamely. Výměna stojí v závislosti na vozu od 5000kč, u většiny osobních aut částka nepřekročí 12 000kč.

Převodovky v automobilech mají zpravidla 5 nebo 6 rychlostní stupňů, které jsou řazeny z interiéru vozu řadicí pákou. Řadu let se v převodovkách využívají synchronní kroužky, jejichž funkce je srovnání otáček na vstupní a výstupní hřídeli převodovky aby mohlo dojít k přeřazení. U starších vozidel musel řidič dorovnat otáčky pomocí meziplynu. Jedná se o srovnání otáček citlivým sešlápnutím plynu v době přeřazení. Tato technika se dnes využívá u mechatronických převodovek a je doporučována řidičům i u převodovek se synchronními kroužky. Je to totiž velmi citlivá metoda, která garantuje prodloužení životnosti celého systému. Diferenciál je nezbytnou součástí pro bezpečný provoz vozu. Zejména sportovně zaměřené a terénní vozy jsou dnes vybaveny elektrickým diferenciálem, který dokáže připojovat větve pomocí lamelárních spojek v závislosti na predikci jízdního stylu a terénu. Vůz má pak garantovanou trakci v rychlých zatáčkách nebo v terénu.



Obrázek 1: sestava spojky [14]

#### 3.2 Převodovky s hydrodynamickým měničem

Konstrukčně se jedná o relativně staré řešení. V první dekádě 21. století se od něj začalo upouštět z důvodu nízké účinnosti, kterou způsoboval především hydrodynamický měnič momentu. Ten plní funkci spojky a moment při rozjezdu nepřenáší třením nýbrž dynamikou kapaliny. Při srovnání otáček motoru se měnič zamkne pomocí lamelární spojky, aby se limitovali ztráty.

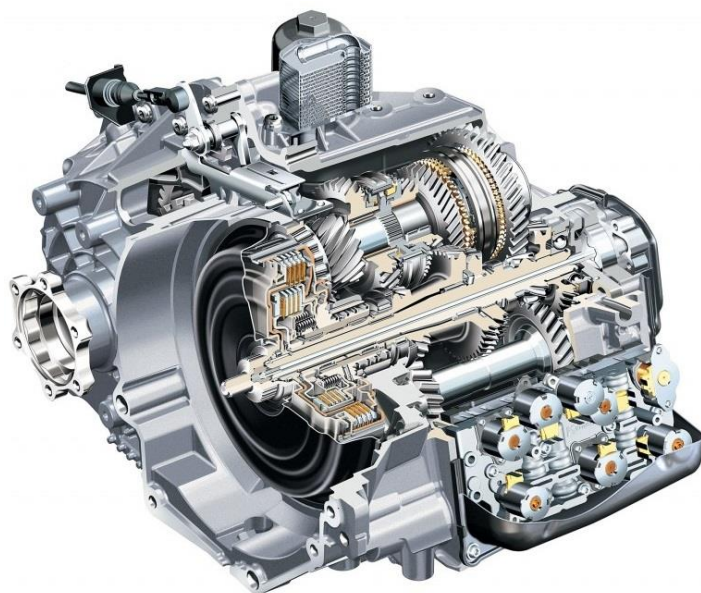
Samotná převodovka je planetárního typu. V počátcích systémy disponovali 3 rychlostními stupni. Dnes se díky podpoře studií dynamických vlastností a účinků kapalin



výpočetní technikou podařilo zvýšit na velmi vysokou úroveň. Moderní planetární převodovky jsou však doménou spíše prémiových značek jako BMW, Mercedes nebo Land Rover. U těchto vozů se můžeme setkat se systémy, které mají i 10 rychlostních stupňů, motor se pak pohybuje v efektivním poli otáček a stoupá tím účinnost. Zároveň je tato výhoda ale vykoupena větší složitostí a hmotností. Celkově jsou však převodovky s hydrodynamickým měničem nejrobustnější a nespolehlivějším systémem. Chyby uživatele jsou eliminovány automatickým řízením.

### 3.3 Přímoházené převodovky

Přímoházené, DSG nebo taky mechatronické převodovky jsou zařízení, které můžeme klasifikovat jako dvě manuální převodovky v sobě, které jsou řízeny roboticky. Převodovka je rozdělena do dvou větví, sudé a liché stupně. Každá větev má svojí lamelovou spojku, která je také řízena roboticky. Řazení pak probíhá tak, že pokud se vozidlo rozjíždí na první převodový stupeň, tedy lichou větev, řídicí jednotka připraví druhý převodový stupeň a v momentě požadovaných otáček rozepne lichou sadu spojky a sepne sudou. Toto přeřazení u moderních vozů probíhá v řádech milisekund. Jedná se tak velmi efektivní systém, který kombinuje výhody manuální a planetové převodovky. Hlavní nevýhodou je složitost a potřeba pravidelné údržby. Mechatronický segment převodovky získává data mimo jiné i kontaktně, takže je nesmírně důležité v převodovce pravidelně měnit olej. Většinou se interval pohybuje kolem 60tkm, a musí být proveden v autorizovaném servisu. Zanedbání intervalu může vést k nadměrnému opotřebení senzorických pístů, které vede ke špatnému vyhodnocení situace řídicí jednotkou a k fatální destrukci. Přítomnost třecích spojek rovněž znamená zhoršení komfortu oproti hydrodynamickému měniči, kdy posádka může zaznamenat drnčení při rozjezdu. Poslední nevýhodou je vyšší cena než u manuálního systému. Celkově se však jedná o vysoce efektivní systém, který napomáhá k snížení spotřeby paliva a pak především emisí vozu. Převodovky se dnes hojně užívají především ve vozech skupiny Volkswagen AG, tedy například Audi, Škoda či Seat. Volkswagen byl v těchto systémech průkopníkem. Cenový rozdíl oproti manuální převodovce bývá okolo 50 000kč.



Obrázek 2: řez DSG převodovou [15]

## 4 Akumulátory elektrické energie

Akumulátor elektrické energie je významným uzlem všech typů pohonů. Vozidla disponující spalovacím agregátem jej využívají primárně k napájení řídicích systému, a komfortním prvkům vozidel, nejsou tedy tak náročné na kapacitu a požadované technické parametry. U vozidel elektrických a hybridních se však jedná o nesmírně důležitý prvek, můžeme říct, že právě na akumulátorech závisí budoucnost těchto moderních pohonů. Při návrhu akumulátoru je řada parametrů, které jsou důležité pro jeho správnou funkčnost. Technické parametry jsou kapacita, nabíjecí výkon, hmotnost a zástavbové rozměry. Další skupinu parametrů můžeme souhrnně označit technologicko-ekonomické. Mezi tyto parametry výrobní cena, životnost, ekologičnost výrobku, náročnost údržby, způsob nabíjení a vybíjení baterie, bezpečnost při provozu akumulátoru. Tyto parametry je třeba zhodnotit v závislosti zejména na určení cílového vozu.

Tabulka 1: porovnání běžně dostupných baterií

	NiCd	NiMH	Olověná	Li-ion	Li-po
Hustota energie [Wh/kg]	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130
Životnost [cykly]	1500	300-500	200-300	500-1000	300-500
Čas rychlonabíjení [h]	1	2-4	8-16	2-4	2-4
Samovolné vybití [%/měsíc]	20	30	5	10	10
Průměrná cena [USD/Wh]	1,5	0,99	0,17	0,47	0,47

Jako alternativní zdroje lze zmínit Lithium-sírové baterie, superkapacitory nebo vodíkové články. Všechny jsou nyní ve fázi vývoje a prototypů. Na jejich případnou aplikaci si bude nutné počkat. [25]

### 4.1 Aplikace baterií ve vozidlech

Jako prozatím nejvhodnější řešení pro pohon se jeví Li-ion baterie. Nabízí nejlepší poměr hustoty energie a hmotnosti, solidní životnost a relativně příznivou cenu. Olověná baterie je vhodná pro použití jako baterie palubní elektroniky a startéru. Není tolik náchylná na nárazovou zátěž. Pro mohutnější nástup elektromobility a zvýšení stupně hybridizace bude nutné počkat na modernější technologie. Li-ion baterie dosahuje dobrých parametrů, ale pro absolutní elektrifikaci není vhodná.

## 5 Vozidla s elektrickým pohonem

### 5.1 Proč elektrické vozidlo?

Elektrické vozidlo může být velmi zajímavou alternativou pro motoristy a firmy, kteří vyžadují pohyb především po městech a ve velmi krátkých vzdálenostech. Pro představu pokud řidičova cesta vyžaduje časté zastávky a celková ujetá trasa je do 15km, tedy typicky popojíždění mezi zákazníky, obchody nebo rozvoz dětí v městských podmínkách.

Takové vozidlo má pak až o 80% levnější provoz než vozidlo se spalovacím pohonem a pořizovací náklady mohou být sníženy dotací. [10]

Posledním velmi důležitým aspektem je ekologie, neboť vůz samotný má nulové chemické emise. Záleží pak pouze na způsobu a efektivitě získání elektrické energie a ekologičnosti výroby celého vozu. Dalším velmi důležitým faktorem jsou emise zvukové, tedy hlukové. Pokud je konstrukce vozu provedena správně, a motor, který je sám o sobě výrazně tišší, než motor spalovací je řádně odhlučněn, jediný hluk který vůz emituje je aerodynamický hluk a hluk od valení kol. Tento hluk je závislý na rychlosti a tím pádem vozy přispějí pro tišší města a tišší dopravní zácpy.

### 5.2 Průzkum trhu

Nabídka elektrických vozidel je dnes již poměrně široká, předpokládá se, že alespoň jeden model by se měl objevit v nabídce většiny značek produkované ve větším množství do roku 2025.

Abychom mohli jednotlivé vozy porovnat, je nezbytné si stanovit důležité parametry jednotlivých vozů. Některé dnešní elektromobily vycházejí z běžných vozů se spalovacím motorem a můžeme předpokládat, že zákazník bude vyžadovat podobné vlastnosti, budou některé parametry shodné jako při výběru benzínového

či dieselového automobilu.

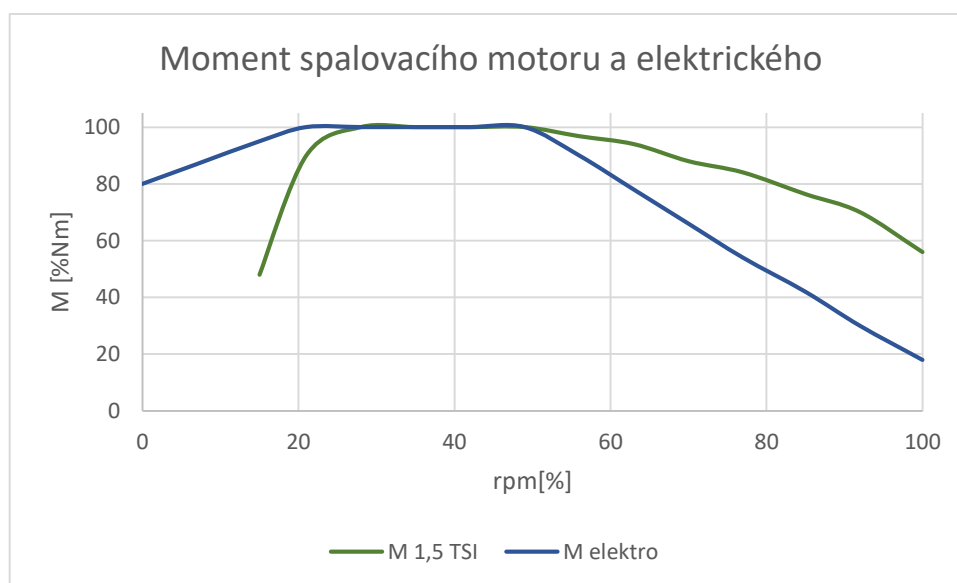
První otázka, kterou by si každý kupující měl položit, je účel používání automobilu. Odvíjí se od toho zásadní parametry, jako třída vozu, která definuje velikost, komfort, reprezentativnost a výkonové spektrum. U porovnávaných vozů tedy budeme sledovat vnější a vnitřní rozměry, objem zavazadlového prostoru, třídu, výkon pohonné jednotky, dojezd, pořizovací cenu, zůstatkovou cenu po 2 a 4 letech užívání. Pokud zůstatková hodnota nebude k dohledání, pokusíme se na základě zůstatkové hodnoty konkurenčních elektromobilů a ostatních modelů značky zůstatkovou hodnotu alespoň aproximovat. Tato získaná data dále můžeme použít pro porovnání s vozy se spalovacím agregátem.

Ekonomické údaje, tedy již zmíněné ceny jsou orientační. Pro pořizovací ceny se vychází ze základní ceny daného modelu uvedené na webových stránkách výrobce či online konfigurátorech. Pořizovací cena se pak liší dle zvolených parametrů vozidla, jako je výbava, barva nebo sjednaná sleva u konkrétního výrobce. Zůstatková cena je variabilnější z důvodu aktuálního technického stavu vozidla, na které má vliv kilometrový nájezd, předepsaný servis stanovený výrobcem a zacházení s vozidlem koncovým uživatelem. Pro srovnávací hodnoty tedy bude vybrána střední hodnota v daném horizontu stáří auta.

### 5.3 Elektrické motory

Motory elektrických vozidel jsou zatím střeženým tajemstvím výrobců. Většinou se jedná o motory asynchronní technologie, někdy je můžeme najít pod označením jako indukční. Obecně se však jedná o jednoduché elektrické stroje. Měření momentových charakteristik elektrických strojů je mnohem náročnější a zdouhavější než je tomu tak u spalovacích motorů. Naměřená data vykazují velké rozdíly a je třeba udělat velký počet měření, aby se došlo k výsledku. Zároveň mnoho zkušebních institucí nemá dlouholeté zkušenosti a znalosti, jako je tomu u spalovacích motorů.

Obecně je pro tyto stroje charakteristický nástup vysokého momentu již od klidu. Na rozdíl od spalovacích motorů, které ve špičkových regulacích dosahují použitelných momentů až u 1000 rpm. Moment lze rovněž regulovat relativně plynulým nástupem, aby nedocházelo k rázovému přetěžování strojů. [4], [16]



Obrázek 3: graf srovnání momentu elektromotoru a zážehového motoru

### 5.3.1 Volkswagen E-Golf

Toto vozidlo je neznalým okem k nerozeznání od sériového vozu. Z vnějšku se liší především integrovanými led světly v bočních částech předního nárazníku kopírující vnější linku míst, kde jsou u spalovacího vozu mřížky sání. Jedná se o vozidlo nižší střední třídy, tedy vhodné pro menší rodiny či vozidlo obchodníka nebo nižšího managementu. [17]



Obrázek 4: E-Golf [17]

Tabulka 2: parametry vozidla E-Golf

<b>Parametry vozidla</b>		
<b>Základní údaje</b>		
Třída	Nižší střední třída	
Počet dveří	5	
<b>Rozměry</b>		
Šířka	1799	mm
Délka	4270	mm
Rozvor náprav	2629	mm
Objem kufru/po sklopení sedadel	341/1231	dm <sup>3</sup>
<b>Technické údaje</b>		
Výkon	136	hp
Točivý moment	290 / 0-3000rpm	Nm
Kapacita baterií	35,8	kWh
Maximální dojezd	300	Km
Poháněná náprava	Přední	
<b>Ekonomické údaje</b>		
Pořizovací cena	993 900	Kč
Zůstatková cena po 2 letech	780 000	Kč
Zůstatková cena po 4 letech	620 000	Kč

### 5.3.2 BMW i3

Vozidlo prémiové bavorské značky je typickým zástupcem takzvaných malých vozů, nebo B-segmentu. Toto malé BMW bylo jedno z prvních evropských aut disponujících plně elektrickým pohonem. Od ostatních vozidel ho silně distinguje futuristický vzhled nezaměnitelný s žádným jiným vozem. [8]



Obrázek 5: BMW i3 [8]

Tabulka 3: parametry vozidla BMW i3

<b>Parametry vozidla</b>		
<b>Základní údaje</b>		
Třída	Malá vozidla	
Počet dveří	5	
<b>Rozměry</b>		
Šířka	1775	mm
Délka	3999	mm
Rozvor náprav	2570	mm
Objem kufru/po sklopení sedadel	260/1100	dm <sup>3</sup>
<b>Technické údaje</b>		
Výkon	170	hp
Točivý moment	max. 250	Nm
Kapacita baterií	18,8	kWh
Maximální dojezd	160	Km
Poháněná náprava	Zadní	
<b>Ekonomické údaje</b>		
Pořizovací cena	1 049 100	Kč
Zůstatková cena po 2 letech	940 000	Kč
Zůstatková cena po 4 letech	650 000	Kč

### 5.3.3 Tesla model S

Kalifornská automobilka operuje již řadu let v oblasti elektromobily, konkrétně tento model pomohl nabýt povědomí o značce i v České Republice. Jedná se o sportovní sedan, který dokáže konkurovat evropským legendám jako je BMW M5. Ze zde zmíněných vozů se však jedná o nejméně dostupný pro většinu uživatelů. [9]



Obrázek 6: Tesla model S [9]

Tabulka 4: parametry vozidla Tesla Model S

<b>Parametry vozidla</b>		
<b>Základní údaje</b>		
Třída	Vyšší střední třída	
Počet dveří	5	
<b>Rozměry</b>		
Šířka	1964	mm
Délka	4970	mm
Rozvor náprav	2960	mm
Objem kufru/po sklopení sedadel	744/1795	dm <sup>3</sup>
<b>Technické údaje</b>		
Výkon	302	hp
Točivý moment	430 / 0-5000rpm	Nm
Kapacita baterií	60-100	kWh
Maximální dojezd	390-509	Km
Poháněná náprava	Zadní	
<b>Ekonomické údaje</b>		
Pořizovací cena	2 300 000	Kč
Zůstatková cena po 2 letech	1 900 000	Kč
Zůstatková cena po 4 letech	1 550 000	Kč

## 5.4 Shrnutí průzkumu trhu elektrických vozidel

Z výše uvedených příkladů vozidel je zřejmé jejich zaměření na odlišné zákazníky. I když je cena Golfu nižší pouze o 55 200 Kč oproti BMW i3, jedná se o automobil o třídu vyšší. Tato skutečnost je zřejmá ze zjištěných rozměrů, velmi důležitým ukazatelem pro komfort pasažérů je rozvor náprav. I když se rozdíl 50mm nejeví jako signifikantní, při správném uspořádání interiéru se jedná o významnou hodnotu. Dalším markantním rozdílem je dostupná kapacita akumulátorů a celkový maximální dojezd vozů. Zatím co Volkswagen a BMW mají pevně stanovenou hodnotu na 35,8 kWh a 18,8 kWh, zákazník Americké společnosti si může vybírat od 60kWh po 100kWh, samozřejmě za patřičné navýšení ceny. Udávané parametry maximálního dojezdu ukazují, jak moc je dojezd vozidla závislý na odběru elektrické energie. Tento odběr se odvíjí od základních parametrů elektromotoru, jako je například jeho moment, výkon a celková efektivita systému a jízdním režimem vozidla. Základní udávaný maximální dojezd Tesly je tedy 390km, avšak dojezd je čerpán z baterií o kapacitě 60kWh. Což je pouze o 90km více z baterií větších o 60%. Další zajímavý parametr vozidel je umístění pohonu nápravy. Zatím co Tesla a BMW využívají systému pohonu zadních kol, Volkswagen zvolil pohon přední nápravy. U Golfu je tento způsob volen z důvodu, že elektrický model vychází ze spalovacích verzí, které primárně disponují také pohonem přední nápravy. Konstrukčně se tedy jednalo o logický krok zejména z ekonomického hlediska, neboť čím více společných prvků bude mít model napříč motorizacemi, tím levnější bude na vývoj a výrobu. I když diskuze na téma přední/zadní pohon dokáže rozvášnit debatu mezi mnohými motoristy, faktem zůstává, že hnaná přední náprava je daleko bezpečnější a předvídatelnější i pro nezkušené řidiče za nepříznivých povětrnostních podmínek. Tento parametr nám rovněž potvrzuje zaměření Golfu, tedy především na bezpečnost a vhodnost vozu pro rodinu. Zatímco Golf sází na nenápadnost a univerzálnost, BMW a Tesla jsou pravým opakem. Obě automobilky sází na nezaměnitelný vzhled a image. Model S a i3 jsou rovněž vozy nesdílející většinou konstrukci s žádným jiným vozem, proto u nich bylo výhodné využít možnosti zadního pohonu. I když bezpečnost je pro nezkušeného řidiče nižší než u předního pohonu, z dynamického hlediska se jedná o lepší řešení, neboť vlivem setrvačných účinků a polohy nápravy vůči těžišti vozu, dokáže pohon efektivněji přenést moment na kola a vozovku. Zázitek z jízdy, jež je neměřitelný parametr a tedy ryze subjektivní dojem by měl u těchto vozů lepší než u Golfu.

Pokud má dnes zákazník zájem o elektrické vozidlo, výběr je daleko větší než byl před pár lety. I když je výběr oproti spalovacím vozům relativně malý, je důležité se zaměřit především na způsob využití vozidla, a to hlavně kvůli dojezdu vozidla. I když dnešní systémy umožňují vozům velice slušný dojezd, dostačující pro většinu lidí na denní dojíždění, dovolená v Chorvatsku na „jeden záta“ je zatím jen snem. Na rozdíl od spalovacího vozidla, kde dočerpání pohonných hmot zabere řádově minuty, se musí elektrické vozidlo dobíjet mnohem déle. Řádově se jedná o hodiny, což pro cestování na dlouhé vzdálenosti není vhodné.



## 6 Spalovací pohony

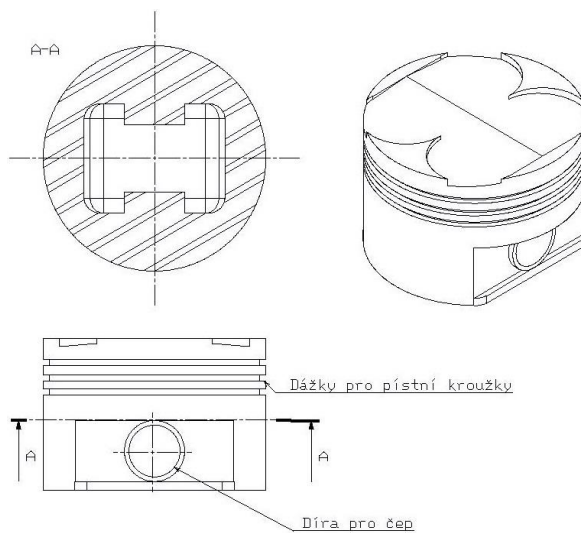
Vozidla využívající spalovací pohon využívají různé mechanismy v motorech k převodu energie, zaměříme se však na většinově nejrozšířenější a to mechanismus klikový. Klikový mechanismus využívá termodynamické cykly, které jsou v roce 2019 významně odlišné oproti Ottovu cyklu a Dieslovo cyklu. Přepřňované motory, kterých je dnes na trhu většina, se blíží spíše Sabatově cyklu. Na vině jsou přídavná přepojovací zařízení jako turbodmychadla, kompresory nebo jejich kombinace. Spalovací pohon je vždy spojen s automatickou nebo manuální převodovkou, diferencíálem a spojkou. V závislosti na požadavky zákazníka a modelu vozidla je na výběr mezi předním náhonem, náhonem na zadní nápravu či náhonem na všechna kola. Trvalý náhon na všechna čtyři kola dnes využívají ryze terénní vozy. Pokud mluvíme o náhonu na všechna kola u většin osobních aut, jedná se o primárně přední náhon nebo zadní náhon, ke kterému se pomocí mezinápravové spojky připojuje druhá náprava. Účelem tohoto řešení je získat co nejvyšší účinnost celého systému, neboť pokud vozidlo nejede v režimu, který vyžaduje zvýšenou trakci, tedy jízda po povrchu se sníženým koeficientem tření (prach, štěrky, bahno, sníh nebo led). Nebo je třeba přenést zvýšený moment oproti relativně ustálenému pohybu, tedy při zrychlování vozidla. [4],

### 6.1 Klikový mechanismus spalovacích pohonů

Jedná se o jednoduchou koncepci využívaného mechanismu, který se vyučuje již na středních školách, jeho základem je píst (objímka), ojnice a klika. Ve skutečném motoru je samozřejmě mechanismus rozšířen o funkční prvky těsnícího, rotačního a zajišťovacího typu.

#### 6.1.1 Píst

Pístem rozumíme komponent, vykonávající za ideálních podmínek pouze posuvný pohyb. V bloku motoru je uložen ve válci. V pístu je díra pro čep, na který je připojena ojnice. V pístu jsou vytvořené drážky pro pístní kroužky. Pístní kroužky jsou elementy pružinového charakteru. Zajišťují separaci maziva od spalovací komory, jejich funkce je tedy stírací a těsnící. Čelo pístů bývá upraveno vybráním pro optimální hoření a promísení paliva. U naftových motorů se setkáme s vybráním kuželovitého tvaru, u benzinových pak může připomínat „otisk“ ventilů, jako je naznačené na obrázku níže. Písty bývají nejvíce namáhanými komponenty celého agregátu, jsou namáhány jak mechanicky tak tepelně. Neboť přímo přeměňují tepelnou expanzi plynů na mechanický posuv.



Obrázek 7:píst [24]

#### 6.1.2 Ojnice

Ojnice je komponent vykonávající obecný rovinný pohyb. Na jednom konci je spojena s pístem pomocí čepu, na druhém dosedá na klikovou hřídel. Svým pohybem přeměňuje

posuvný pohyb pístu na rotační pohyb klikové hřídele. Konstrukčně se u naftových ani benzínových motorů výrazně neliší, jako je tomu u vybrání čela u pístu.

### 6.1.3 Kliková hřídel

Jak již bylo zmíněno, jedná se o prvek vykonávající rotační pohyb. V hlavní ose je hřídel uložena v ložiskách v bloku motoru. Na klikách je pak připojena ojnice. Konce klik jsou spojeny „čepy“ které vykonávají pohyb po kružnici kolem hlavní osy hřídele. Hřídel je zpravidla vyráběna jako jeden kus, většinou kováním a následným opracováním povrchu dosedacích ploch. Jednotlivé kliky jsou vůči sobě nakloněny v závislosti na počtu válců, u nejrozšířenějších čtyřválcových motorů jsou otočeny o 180°. Je tomu tak kvůli optimalizaci a synchronizaci jednotlivých cyklů. Z tohoto je zřejmé že se při horních a dolních úvratí cyklů dostává motor do fáze, kdy leží hlavní osa pístu (osa souhlasná s osou válce), a hlavní osa ojnice na jedné přímce. Může tak teoreticky dojít k tomu, že na uzel působí pouze tlak, a motor se zastaví. Z tohoto důvodu je nutné připojení setrvačníku na konec klikového hřídele. Na druhém konci je pak výstup pro vačkový mechanismus, nejčastěji se jedná o řemenové nebo řetězové kolo.

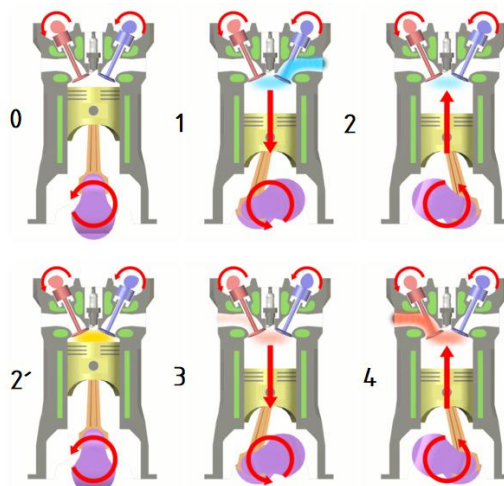
## 6.2 Termodynamické cykly spalovacích pohonů

Z popsaného klikového mechanismu je zřejmé, že systém vyžaduje energetický vstup pro výkon práce mechanismu. Tento vstup je zabezpečen pomocí spalovacích cyklů. Kdy přivedené palivo svou expanzí vykonává práci. Základní rozdělení je možné udělat podle dob. Většinou využíváný je systém čtyřdobý, dříve byl populární i systém dvoudobý. Jelikož dvoudobý agregát je v dnešní době záležitost spíše zahradního nářadí, jako pily, vyžinače nebo křovinořezy a to především kvůli nízké účinnosti a emisním limitům, bude popsán systém čtyřdobý. Popis čtyřdobých cyklů je v podstatě popis termodynamických cyklů a zároveň polohy klikového a vačkového mechanismu.

### 6.2.1 Čtyřdobý cyklus spalovacího zážehového motoru

V pozici (0) se systém nachází v horní úvrati, jedná se o klidovou polohu, které je dosaženo setrvačností systému, a prací ostatních válců. Sání je první dobou cyklu (1). Píst svým pohybem k dolní úvrati vytváří podtlak, který nasává připravenou směs vzduchu a paliva do spalovací komory. Druhou fází je komprese plynu pohybem pístu do horní úvrati (2). Plyn je v této rovněž zahřátý ale nemělo by dojít k nekontrolované expanzi. Expanze je řízena zažehnutím paliva zapalovací svíčkou, která je přímo řízená řídicí jednotkou vozidla, dle aktuálních požadavků na provozní režim vozidla (3). Plyn expanduje a tlačí na píst. Poslední fází (4) je odstranění zplodin ze spalovací komory. Nazýváme jí výfuk. Píst pohybem do

horní úvrati tlačí ven všechny nežádoucí plyn. Agregát se dostává do fáze (0).



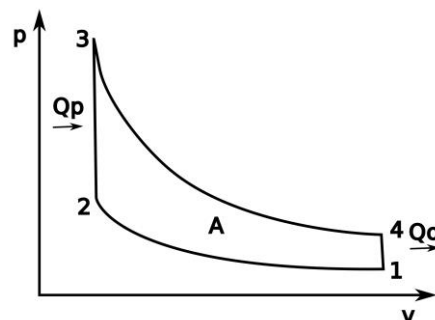
Obrázek 8: diagram cyklů motoru [18]

### 6.2.2 Čtyřdobý cyklus vznětových motorů

Jedná se o velmi podobný cyklus jako u zážehového motoru. V první fázi agregát nasává pouze vzduch, který je stlačen mnohem větším kompresním poměrem, než je tomu u zážehového agregátu. Expanze pak probíhá samovznícením vstříknuté nafty do spalovací komory, dochází k tomu ve fázi (2') kdy je píst v horní úvrati. Zbytek cyklu je pak totožný.

### 6.2.3 Ottův cyklus

Jedná se o vratný cyklus, který odpovídá čtyřdobému modelu zážehového motoru. I dnes se můžeme setkat s hojným rozšířením ale spíše na poli ojetých vozidel. Pro koncern Volkswagen byli motory využívající tento cyklus nejčastěji označovány jako MPi nebo FSI. Popsat jej můžeme pomocí p-v diagramu čtyřmi body a křivkou. Jedná se však o teoretický model, který představuje ideální průběh. Mezi body (1) a (2) probíhá adiabatický komprese, tedy bez změny tepla. Izochorický přívod tepla probíhá mezi body (2) a (3). Mezi body (3) a (4) probíhá další adiabatický děj, a to konkrétně expanze. Posledním termodynamickým dějem je izochorický odvod tepla mezi body (4) a (1).



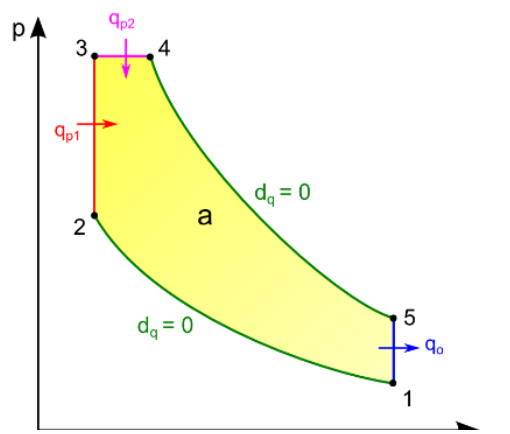
Obrázek 9: Ottův cyklus v p-v diagramu [19]

### 6.2.4 Dieselův cyklus

Další vratný cyklus, se kterým se dnes ve vozidlech setkáme pouze ojediněle i na poli ojetých vozidel. Atmosfericky plněné agregáty jsou doménou vozidel minulého století. Konstrukčně se sice jednalo o jednodušší řešení oproti přeplňovaným vznětovým motorům, jejich účinnost a kultivovanost ale byla na velmi špatné úrovni. Dnes jej můžeme ojediněle potkat u opravdu starých ojetin například pod označením SDI. Jedná se o podobný cyklus jako Ottův. Jediná změna je pak děj mezi body (2) a (3) kde u Dieslova cyklu stroj koná izobarický přívod tepla.

### 6.2.5 Sabatův cyklus

Model termodynamického cyklu, který využívají moderní přeplňované naftové motory. Hlavní změnou oproti Dieslovo cyklu je, že ještě před izobarickým přívodem tepla, je izochoricky zvýšen tlak. Tento děj je možný díky přeplňování. Pomocí externího zařízení je uměle zvýšen kompresní poměr a motor pak vykazuje vyšší účinnost. Opět se samozřejmě jedná o idealizovaný model. Tento cyklus je z těchto tří uvedených nejúčinnější. Jeho aplikací však vzrostly nároky na počet součástí a náročnost celého systému.



Obrázek 10: Sabatův cyklus v p-v diagram [20]

### 6.2.6 Atkinsonův cyklus

Atkinsonův cyklus je jakousi evolucí Ottova cyklu, hlavním rozdílem je změna časování ventilů v kompresní fázi. U Ottova cyklu se ventily zavřou, jakmile je píst v dolní úvratí. U Atkinsonova cyklu dochází k zavření, když se píst pohybuje k horní úvratí, tedy s malým zpožděním. Toto sníží množství nasávaného paliva při zachování kompresního poměru. Motor tedy pracuje efektivněji.

## 6.3 Rozvodový systém, vačkový mechanismus

Pro rozvod provozních tekutin je třeba do motoru zavést systém plnicí tuto funkci. Pro pohon je vhodné využít energii klikového hřídele. Ta je rozvedena pomocí převodů, přes řetěz nebo drážkovaný řemen, do dalších uzlů systému.

Mezi tyto uzly patří mazání a chlazení. Dalším důležitým systémem je vačkový mechanismus. Ten řídí tok paliva dovnitř spalovací komory a odvod spalin. Vačkový mechanismus je uložen v hlavě válců. Jeho části jsou vačková hřídel, ventily, sedla ventilů a pružiny, které vrací ventily po uvolnění vačky. Vačkový systém je nesmírně náročný na mazání, neboť jednotlivé komponenty pracují na hraně mezi kluzem. Neméně důležitým parametrem je časování. Jak již bylo popsáno, pro optimalizaci spalování je vhodné časovat ventily, například tak, aby při vysoké zátěži motor pracoval v Ottově cyklu a při nízké v Atkinsonově. V praxi to funguje tak, že je vačková hřídel osazena dvojnásobným počtem vaček, jedny jsou navrženy tak, že pracují v Atkinsonově cyklu, druhé v Ottově. Tento systém je navíc opatřen vahadly, pro každou vačku. Řídící jednotka pak vyhodnocuje požadovaný pracovní režim motoru, a podle toho mechanicky připojuje vahadla. Systém je však velice komplikovaný, a zvýšený počet mechanických komponent zvyšuje vnitřní tření, a setrvačné účinky. Další nevýhodou je vyšší servisní náročnost, jak na interval údržby, tak na samotné práce na mechanismu.

Ventily jsou jednou z více namáhaných součástí motoru, zejména tepelně, proto jsou moderní ventily opatřeny tekutým jádrem. Uvnitř je kov, kvůli tepelné kondukcí, který je však za provozních teplot tohoto uzlu tekutý, setrvačností pak distribuuje teplo. Toto opatření je nezbytné především u vysoce zatěžovaných motorů, zejména sportovně zaměřených. S nárůstem požadavků na účinnost, však můžeme očekávat toto řešení i v běžných vozidlech.

Počet ventilů na válec, a tedy objem, přes který jsou vedeny provozní plyny, má přímou souvislost s výkonem vozidla. Proto se u základních modelů motorů setkáváme s pouze dvěma

ventily na válec, u motorů laděných na vyšší výkon jsou to většinou čtyři. Výjimkou byl motor kubatury 1.8L od Audi. Ten disponoval speciálním systémem pěti ventilů na válec. Upravený sklon ventilů umožnil konstrukci tří ventilů pro sání. Tento motor dosahoval výborných výkonových parametrů, vzhledem ke své soudobé konkurenci. Můžeme se s ním setkat i v ostatních vozech koncernu VW, jako například ve voze Škoda Octavia první generace. Přepřelňovaná jednotka 1.8T pak poháněla ostřejší model RS. [4], [5]

## 6.4 Mazání spalovacích motorů

Motory jsou mazány pomocí syntetických olejů předepsanými normami výrobců. Důležitými parametry je ale i jejich viskozita. Ta je uváděna jako například 10W40, kde jednotlivá čísla udávají schopnost mazat při určitých teplotách. Viskozita úzce souvisí s vůlemi v samotném motoru. Je tedy nezbytné dodržovat předepsané normy. Obecně tedy lze říct, že u moderních motorů jsou směsi výrazně řidší, než u motorů starších. Viskozita by se rovněž měla upravovat dle opotřebením motoru. Olej je pomocí čerpadla, které je převodem připojeno na klikovou hřídel, veden do olejového filtru a chladiče. Dále je rozveden do všech částí motoru, kde je potřeba. Olejová náplň je uchovávána v olejové vaně, která uzavírá blok motoru zespodu. Výměna náplně včetně filtru je dnes většinou doporučena po 30 000km nebo 2 letech. U nového motoru, i když to není nikde předepsané, je vhodné vyměnit olej alespoň 2x v předepsaném intervalu. Při zaběhávání, které trvá až prvních 15 000 km, se do náplně dostává velké množství kovových částíček, které mohou motor poškodit. Po větším opotřebením, tedy nájezdu, je vhodné s výrobcem konzultovat přechod na olej s větší viskozitou, neboť se zvětšili vůle v celém ústrojí, a řidší olej již nemusí plnit funkci, jak má. [4], [5]

## 6.5 Chlazení spalovacích motorů

Systémy chlazení tvoří nedílnou součást vývoje motorů. Neboť motor pracuje správně, pokud dosáhl provozní teploty. Zejména co se týká opotřebením, spotřeby a emisím. Proto je třeba věnovat návrhu chlazení patřičnou pozornost. Přechlazený motor je pro dlouhodobé použití stejně špatný jako přehřátý, i když u přehřátého dojde k fatálnímu selhání dřívě.

Motor je chlazen pomocí tekutiny, dnes je to výhradně směs ethylenglykolu. Ten se vyznačuje nízkou teplotou tání a vysokou teplotou varu. Komerčně se tato směs označuje například G13, tato směs je momentálně nejaktuálnější v prodáváných vozidlech. Platí, že nově vydané směsi jsou mísitelné a kompatibilní se systémy staršími. Pokud je továrně motor chlazen se směsí G12, je možné jí dolít G13. Občas vzájemná koncentrace bývá regulována normami výrobce. Objem tekutiny bývá 5-10l, v závislosti na kubatuře motoru, umístění motoru vůči chladiči a individuálnímu konstrukčnímu řešení.

Mezi hlavní části chladicího systému je chladič. Jedná se o systém trubek uložený v bloku s velkým povrchem. Primární zdroj externí chladicí tekutiny je vzduch protékající pomocí pohybu vozidla vůči okolní atmosféře. Chladič je osazen ventilátory, pro podporu chlazení, pokud diference rychlosti vozidla a okolního vzduchu je nízká. Například pokud vozidlo popojíždí v zácpě. Pohonem pro proudění tekutiny je vodní pumpa, uložená v bloku motoru, hnaná rozvodovým systémem. Tekutina je rozvedena pomocí trubek a hadic motorovým prostorem k potřebným místům. V samotném bloku motoru je tekutina rozvedena pomocí kanálků.

Chlazení je dnes řízeno elektronicky, pomocí termostatu, a teplotních čidel. Řídící jednotka tak optimalizuje průtok kapaliny, zejména ve fázi ohřívání motoru. Odpadní teplo je rovněž využíváno jako teplo pro topení kabiny vozidla. Zde nastává problém u naftových agregátů, neboť celé ústrojí je materiálově robustnější a prohřátí trvá déle. Dále fakt, že se nafta spaluje při nižší teplotě, než benzín vedl k zavedení elektrického modulu ohřevu kabiny, než se motor dostatečně zahřeje. [4], [5]

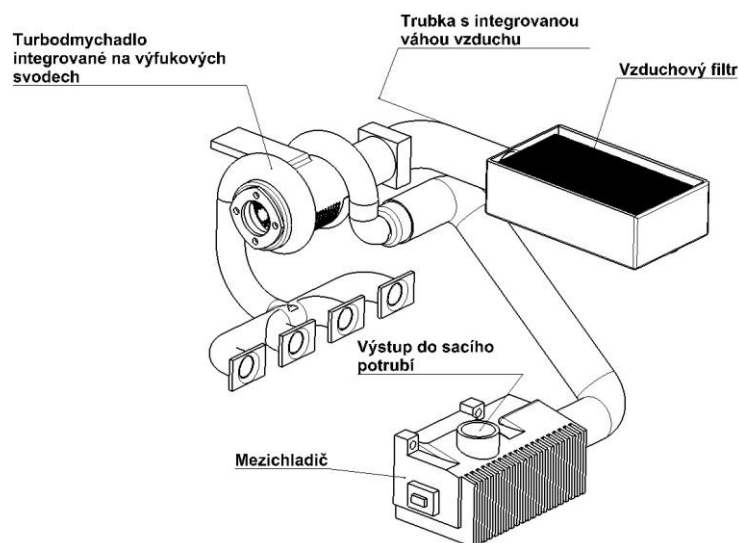
## 6.6 Příprava palivové směsi

Jako zdroj energie pro spalovací motory jsou primárně směsi uhlovodíků získané z ropy. Je to nafta, benzín, CNG nebo například LPG. Tyto tekutiny je třeba uchovávat v dostatečném množství. Proto slouží palivová nádrž. Průměrný objem u vozidla nižší střední třídy je 50l. Jedná se o plastovou nádobu, uloženou většinou mezi zadní nápravou a zadní řadou sedaček. Toto palivo je pomocí objemového čerpadla, dnes s integrovaným filtrem, vedeno do motorového prostoru vozidla, toto čerpadlo slouží pouze pro přenos paliva, není podstatným uzlem pro zvýšení tlaku. Tato etapa je jediná společná pro zážehový a vznětový motor. Neboť moderní vznětové motory využívají systém Common-rail. [2], [4], [5]

### 6.6.1 Sání moderních motorů

Aby palivo bylo schopné hoření, musí být smícháno s patřičným množstvím kyslíku, ten je získán z okolního vzduchu. Prvním uzlem sací soustavy je palivový filtr, který je hned za sací hubicí. Jedná se o směs podobnou papíru, složenou do harmonických vlnek, pro zvýšení povrchu. Dalším prvkem je takzvaná váha vzduchu. Jedná se o elektronický senzor měřící skutečný průtok vzduchu. Tento prvek byl nezbytný již pro motory splňující emisní normy EURO3. Váha vzduchu odesílá informace řídící jednotce. Pro správnou funkci váhy vzduchu je třeba zajistit laminární profil průtoku vzduchu, aby systém fungoval správně. Zvláště za palivovým filtrem má tekutina tendenci utvářet turbulentní proudění, což nejen snižuje účinnost soustavy, ale zároveň předává chybné informace váze. Tento problém byl typický pro přepřehované motory splňující normy EURO5. Důsledkem byl špatný chod motoru a tím pádem i rapidní zhoršení emisí. Řešením je instalace usměrňující mřížky před váhu vzduchu. Množství nasátého vzduchu je regulováno škrtkicí klapkou, která je ovládána elektronicky. Dříve ke škrtkicí klapce vedlo lanko. Celý systém tak byl ovládán polohou škrtkicí klapky, včetně přívodu paliva. Systém se však ukázal méně spolehlivý, než je tomu u elektronicky řízené. Souvisí to i se zavedením elektronických pedálů, které kromě polohy snímají i sílu jakou je na pedál tlačeno.

Pokud se jedná o atmosférický motor, vzduch je potrubím veden k sací komoře válcové hlavy. Potrubí musí být



Obrázek 11: soustava sání [24]

opět pečlivě navrženo, aby nedocházelo k nežádoucím profilům proudění, změnám teploty vzduchu a především ztrátám.

Pohonem pro sání je v případě atmosférických motorů podtlak vznikající pohybem pístu. V případě přeplňování je navíc hnán turbodmychadlem nebo kompresorem, popřípadě jejich kombinací.

### 6.6.2 Přeplňování spalovacích motorů

Účelem přeplňování, jak již bylo zmíněno, je zajistit nárůst kompresního poměru bez změny kubatury motoru. Je tedy třeba přivést dodatečný vzduch pomocí dalšího uzlu. Podle zdroje energie pro pohon tohoto zařízení je rozdělujeme na kompresory a turbodmychadla.

Turbodmychadlo je zařízení, které využívá kinetickou energii výfukových plynu. Ty roztáčí turbínu v první komoře. Přes hřídelku je přenesen výkon na druhou turbínu, která má za úkol čerpat. Jelikož výfukové plyny mají teplotu stovek až tisíc stupňů, je nutné vzduch načerpaný turbodmychadlem schladit. K tomu slouží mezichladič, který funguje stejně jako hlavní chladič motoru. Ochlazený vzduch je nyní možné poslat do další etapy přípravy palivové směsi. Turbodmychadla mohou být jednotlivé, sériové nebo vícenásobné. Jelikož práce turbodmychadla jsou přímo závislá na průtoku spalin, jejich účinek přirozeně nastupuje až po dosažení určitých otáček. Tento jev se nazývá turbo efekt. První krok pro omezení tohoto efektu byla variabilní geometrie lopatek. Ta umožňuje snížit sací objem a turbo začíná pracovat mnohem dříve. Dalším vývojovým krokem jsou sériová turbodmychadla. Jedná se o systém rozdílně velkých turbín, kdy při nízkých otáčkách pracuje nejmenší a postupně se připojují větší. Běžným trendem jsou dvě turbodmychadla, v prémiových vozech jsou běžná i tři. Vícenásobné turbo je pak systém, kdy je v motoru více turbín, každá má však na starost jen určitou část válců.

Druhým častým typem přeplňování je kompresor. Jedná se většinou o Rootsovo dmychadlo poháněné převodem přes klikovou hřídel. Jeho nástup je tedy na rozdíl od turbodmychadla lineární. Jeho nevýhodou oproti turbodmychadlu jsou mechanické ztráty vlivem práce dmychadla. S tímto systémem se setkáme především u vozidel Mercedes.

Tyto dva systémy je možné kombinovat. Nejrozšířenějším vozidly disponující tímto systémem jsou vozy koncernu Volkswagen s motorem 1.4 TSI twincharger. Motor však neměl velký úspěch vlivem nízké spolehlivosti, za kterou mohla i složitost tohoto systému.

Další alternativou je systém, kterého využilo vozidlo Audi SQ7 biTDi. Jedná se o naftový osmiválec disponující dvěma turbodmychadly. Nástup momentu, který u tohoto vozu je 900Nm byl již na 1000 rpm. Bylo to možné, díky tlakové nádobě, do které se čerpal elektrickým kompresorem vzduch. V případě potřeby pak tento vzduch roztočil turbodmychadlo, a eliminoval tím jakýkoliv turbo efekt.

### 6.6.3 Common-rail

Tento systém distribuce je doménou vznětových motorů. Největšího rozšíření se dočkal na začátku dvacátého století. Jakmile je nafta dopravena z palivové nádrže do motorového prostoru, čeká jí ještě jedno přefiltrování. Neboť má voskový charakter, a je daleko náchylnější na nečistoty. Samotné komponenty tohoto systému disponují mikroskopickými kanálky, a jakákoliv nečistota může být fatální.

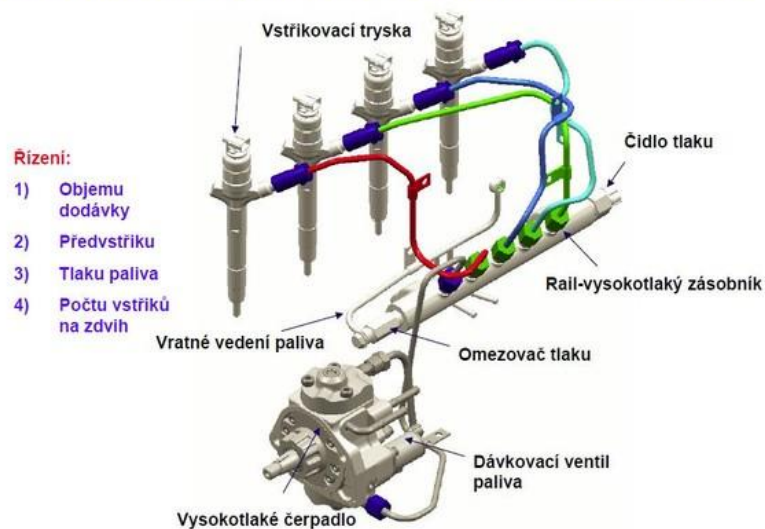
Přefiltrovaná nafta následně projde dalším objemovým čerpadlem, opět elektrickým. Toto čerpadlo není podmínkou pro funkci systému. Jedná se o individuální komponentu závisející na vozidlu a motoru. Další krok je tlakové čerpadlo. To je již mechanické, připojené přímo na rozvodový systém agregátu. Součástí modulu čerpadla je tlakový ventil, který upouští naftu zpět do čerpacího cyklu.

Natlakované palivo následně putuje do railu. Jedná se o distribuční rozvod, pro jednotlivé přívody vstřikovačů. Při náhledu na motor se jedná o kovovou trubku, ze které vystupují trubičky ke vstřikovačům. Odtud pochází název common-rail. Natlakovaná nafta je dále pomocí kovových trubiček distribuovaná ke vstřikovačům.

Systém vstřikovačů je typický tím, že pracuje s obrovskými tlaky. Běžně to bývá až 180MPa. Vstřikovač pracuje na základě piezo-elektrických jevů, nebo magnetických. Je tak velmi rychlý a je možné jej přesně řídit. To umožňuje, že systém provede až pět vstřiků do jedné spalovací komory během jednoho cyklu. Jak již bylo zmíněno v kapitole o termodynamických cyklech, na rozdíl od zážehových agregátů se palivo vstřikuje přímo do spalovací komory.

Hlavní výhodou je možnost řízení spalování a tím pádem zvýšení efektivity. Tento systém s sebou však přináší i řadu nevýhod. Jako hlavní je náchylnost celého systému na kvalitu nafty. Díky prafinovému charakteru nafty jsou některé části navrženy tak, že počítají s naftou jako mazivem. Nevhodná nafta pak může způsobit buď ucpání systému, nebo naopak zadření vlivem nedostatečného mazání. Charakter motoru je pak také odlišný oproti předchozímu systému čerpadlo-tryska. Reakce motoru na plyn je zdatelně pomalejší, kvůli tomu, že se rail tlakuje, a dodávka nafty není tak rychlá.

Denso common rail systém HP3 2. generace –max. tlak 180 MPa



Obrázek 12: Common-rail [21]

#### 6.6.4 Vstřikování zážehových motorů

Palivo v tomto případě není dopravováno přímo do spalovací komory, a nejsou tak vyžadovány velmi vysoké vstřikovací tlaky. Systémy jsou tedy významně jednodušší. Komplexní systém se většinou liší v závislosti na motoru a výrobců, není tak unifikovaný jako common-rail. Přivedené palivo je většinou přes další čerpadlo distribuováno k rozvaděči k jednotlivým vstřikovačům. Z rozvaděče je přes výparník přebytečné palivo vráceno do oběhu.



Vstřikovače pak vstřikují palivo ve spalovací komoře. Po zbytek cyklu jsou odděleny ventilem.

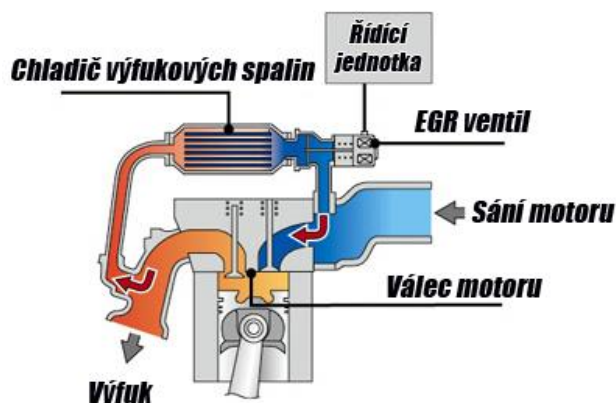
### 6.6.5 Systém zpětného vedení spalin AGR/EGR

Tento systém je nedílnou součástí motorů, které splňují normu minimálně EURO3. Jeho účelem je optimalizovat složité termodynamické a chemické reakce uvnitř spalovací komory motoru. Proto jeho funkce bude popsána zjednodušeně.

Jak již název napovídá, jedná se o systém, který vede část výfukových spalin zpět do systému sání. Je tedy nezbytné zavést nejméně dva další uzly do motoru. Prvním je elektronicky řízený ventil, který upouští část výfukových spalin do sání. Dalším je chladič EGR plynů. Systém má za úkol redukovat emise typu  $\text{NO}_x$ . Ty vznikají při spalování chudé směsi paliva a nárazově vysokých teplotách během spalovacího cyklu. Výfukové plyny jsou inertní, tudíž nijak nereagují s kyslíkem ve vzduchu ani palivem. Jejich zavedením do spalovacího procesu se snižuje teplota tím, že absorbuje teplo vzniklé při spalování.

Pro správnou funkci systému je třeba řídit spouštění. Saze, které vznikají zejména u vznětových motorů nedokonalým spalováním, mohou rychle zanést tento systém, a tím omezit popřípadě úplně vyřadit jeho funkci. Dobře řízený systém se tedy použije až při optimálních provozních teplotách a při optimální spalovací směsi pro jeho funkci.

I když je tento systém mnohdy démonizován, zejména u starších agregátů, bude i do budoucna nedílnou součástí motorů, pokud nebude nahrazen jiným systémem se stejným a lepším účinkem. Jeho poruchovost byla způsobena zanášením, zejména kvůli špatnému řízení motorů. Dnes je to velmi omezeno, zdokonalením ostatních uzlů systému a pokrokem ve výpočetní technice. Vždy se však bude jednat o systém, jehož údržbě bude třeba věnovat patřičnou pozornost.



Obrázek 13: EGR diagram [22]

## 6.7 Katalytické systémy snížení emisí, DPF

Ačkoliv je řízení spalování na velice dobré úrovni, nebude nikdy dokonalé, proto je třeba nutně zavést katalyzátory a filtry do výfukového systému vozů. Katalyzátory dělíme třícestné, oxidační a redukční. [4], [5]

### 6.7.1 DPF

Neboli filtr pevných částic. Jak již název vypovídá, jedná se o filtr, který má za úkol zachytit drobné částičky vzniklé při spalování. Jedná se o popílky a saze, které vznikají nedokonalým spálením kapének paliva. Jelikož moderní motory dokáží rozpráshit směs paliva daleko jemněji, jsou tyto částice mnohem menší a tím pádem i škodlivější pro životní prostředí a organismy. U lidí jsou tyto částice spojovány s karcinomem plic.

Samotná filtrační vložka je většinou keramická, s průchodností nastavenou tak, že zachytí právě tyto pevné částice. Čištění těchto spalin z filtru se liší, zda je filtr v benzínovém

nebo naftovém vozidle. Obecně se vložky čistí vypalováním. Benzínová vozidla svůj filtr většinou čistí samotným provozem, neboť výfukové plyny mají dostatečnou teplotu, potřebnou pro vypálení.

U vznětových motorů nastává problém pro dosažení této teploty. Termodynamické cykly běží při mnohem nižších teplotách a je tedy třeba tuto teplotu uměle zvyšovat. Toto bývá problematické zejména u vozidel, které tráví většinu svého života ve městě. Protože provozním cyklem typu město vznikají právě tyto popílky a částice, a motor nemá dostatečnou teplotu, aby je mohl vypalovat. Naopak při dálničním provozu pracuje motor s mnohem většími teplotami výfukových plynů, a filtr se pak vypaluje automaticky.

### **6.7.2 Třícestný katalyzátor**

Tento katalyzátor je využíván u zážehových motorů. Pracuje na principu katalyzace výfukových zplodin s látkou obsaženou v těle katalyzátoru. To funguje na principu přebytku kyslíku ve zplodinách. Tyto přebytkové hodnoty reguluje řídicí jednotka, která je hlídá pomocí lambdasond, před a za katalyzátorem. Katalyzátor musí dosáhnout určité provozní teploty, proto se uměle zahřívá bohatou směsí, která hoří mimo spalovací komoru. Tento fenomén je známý provozovatelům těchto vozidel, kdy má auto pár minut po startu, zejména v zimních měsících „prská“ do výfuku a jde z něj hustší kouř se zřetelným zápachem benzínu.

### **6.7.3 Oxidační katalyzátor**

Oxidační katalyzátor funguje velmi podobně jako třícestný. Je doménou vznětových motorů.

### **6.7.4 Redukční katalyzátor**

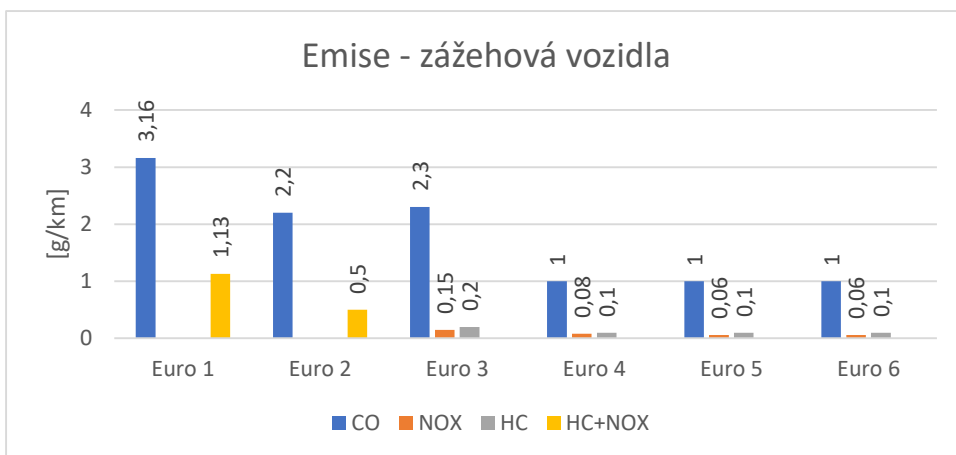
Katalyzátor je využíván zejména u vznětových motorů. Zejména při chudé směsi vznikají oxidy dusíku –  $\text{NO}_x$ . Ty je třeba eliminovat, aby bylo možné dosáhnout nízkých emisí a spotřeby zároveň. Jako katalyzátor je zde močovina. Ta selektivní katalytickou redukcí přeměňuje škodlivé plyny, na dusík a vodu. Močovina dnes patří k běžným provozním kapalinám, které lze zakoupit i na čerpacích stanicích. Obchodní název je pak AdBlue. Redukční katalyzátor je v dnešní době doménou zejména výkonnějších motorů. V následujících pár letech však můžeme očekávat jeho nástup i do slabších jednotek.

Roztok AdBlue má teplotu tuhnutí  $-12^\circ\text{C}$ . Je jej tedy třeba uchovávat ve vyhřívané nádrži v zimních měsících. Roztok rovněž musí být odsán, pokud okolní teplota dosahuje těchto hodnot z celého katalytického systému, to má za úkol dvojcestné čerpadlo.

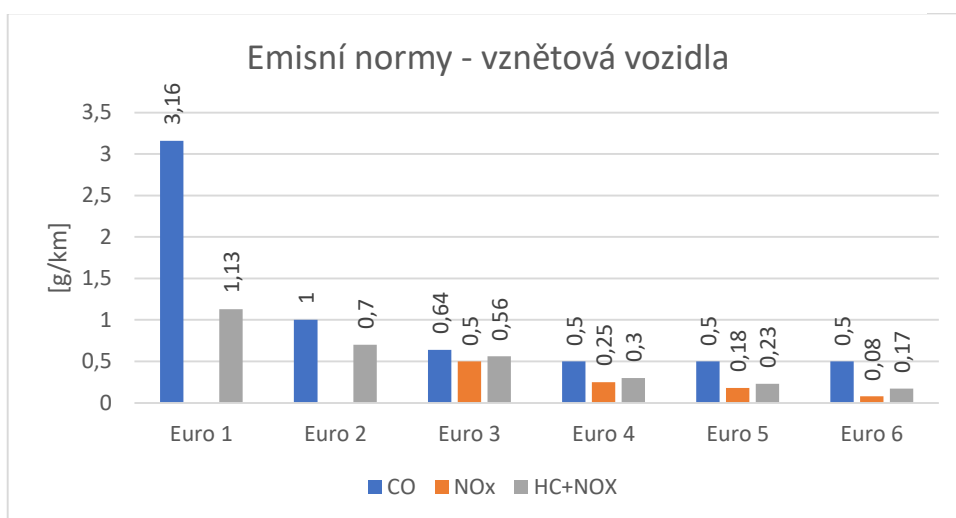
## **6.8 Emisní normy**

Emisní normy jsou nástrojem úřadů jak řídit vývoj, produkci a prodej vozidel, tak aby jejich provoz byl udržitelný. Normy jsou popsány pro jednotlivé typy vozidel, tedy například osobní, nákladní či autobusy. Pro účely této práce se zaměříme pouze na emisní normy pro klasická osobní vozidla.

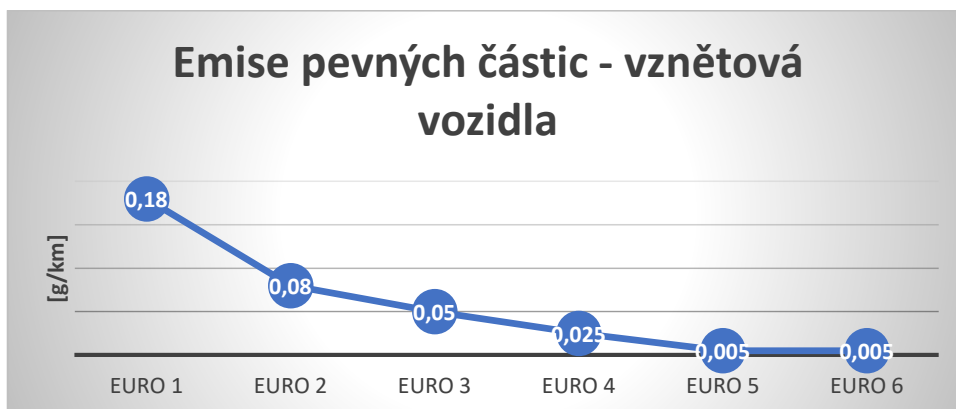
Sledují se emise jako  $\text{CO}$  – oxidy uhlíku,  $\text{NO}_x$  – oxidy dusíku,  $\text{HC}$  – uhlovodíky a pevné částice. Tedy popílky a saze. [7]



Obrázek 14: povolené emise pro zážehová vozidla



Obrázek 15: povolené emise pro vznětová vozidla

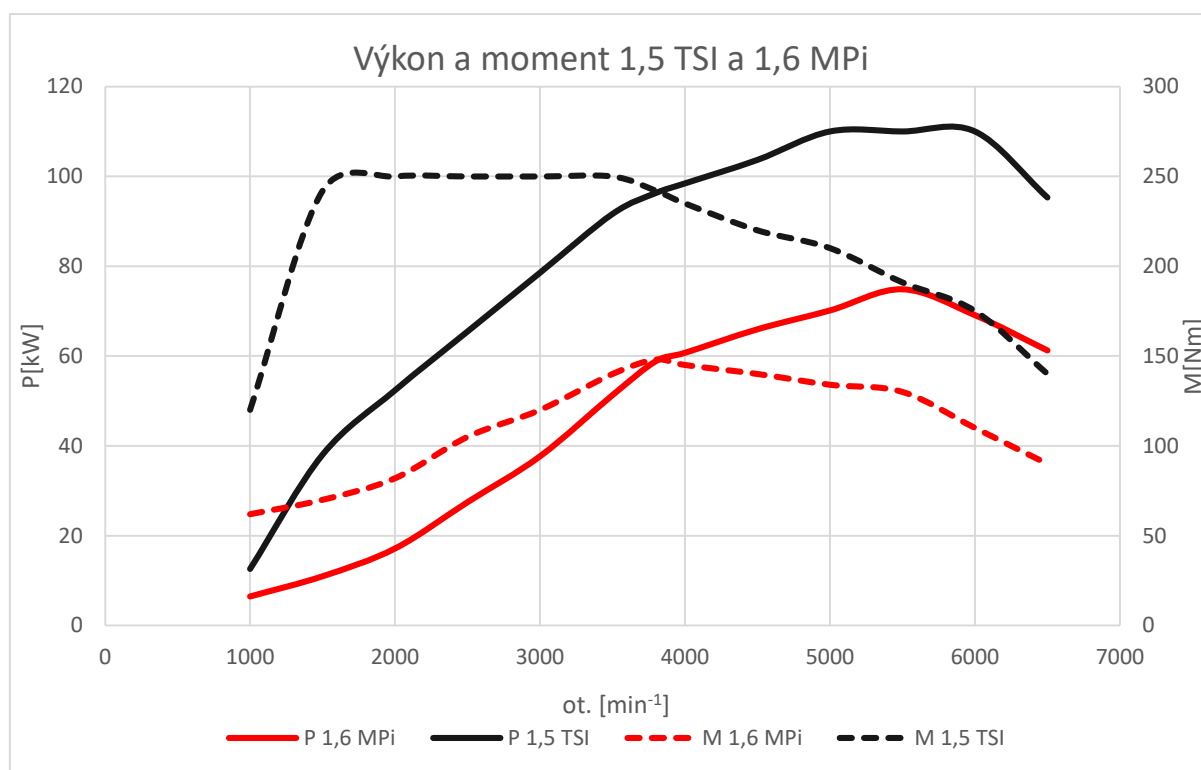


Obrázek 16: povolené emise pevných částic pro vznětová vozidla

## 6.9 Výkonové a momentové charakteristiky spalovacích pohonů

Od doby, kdy se začala rozvíjet výpočetní technika a vozidla nebyla řízená jen karburátory lankem připojenými na pedál, ale sofistikovanějším elektronickým řízením se výkonové a momentové charakteristiky výrazně změnily. Dalším důležitým milníkem je zavedení přeplňování. Motory tedy dokážou pracovat daleko efektivněji, s větším výkonem. Díky přeplňování pak maximální momenty a výkony nejsou pouze bodové ale kontinuální, jak si předvedeme na grafu.

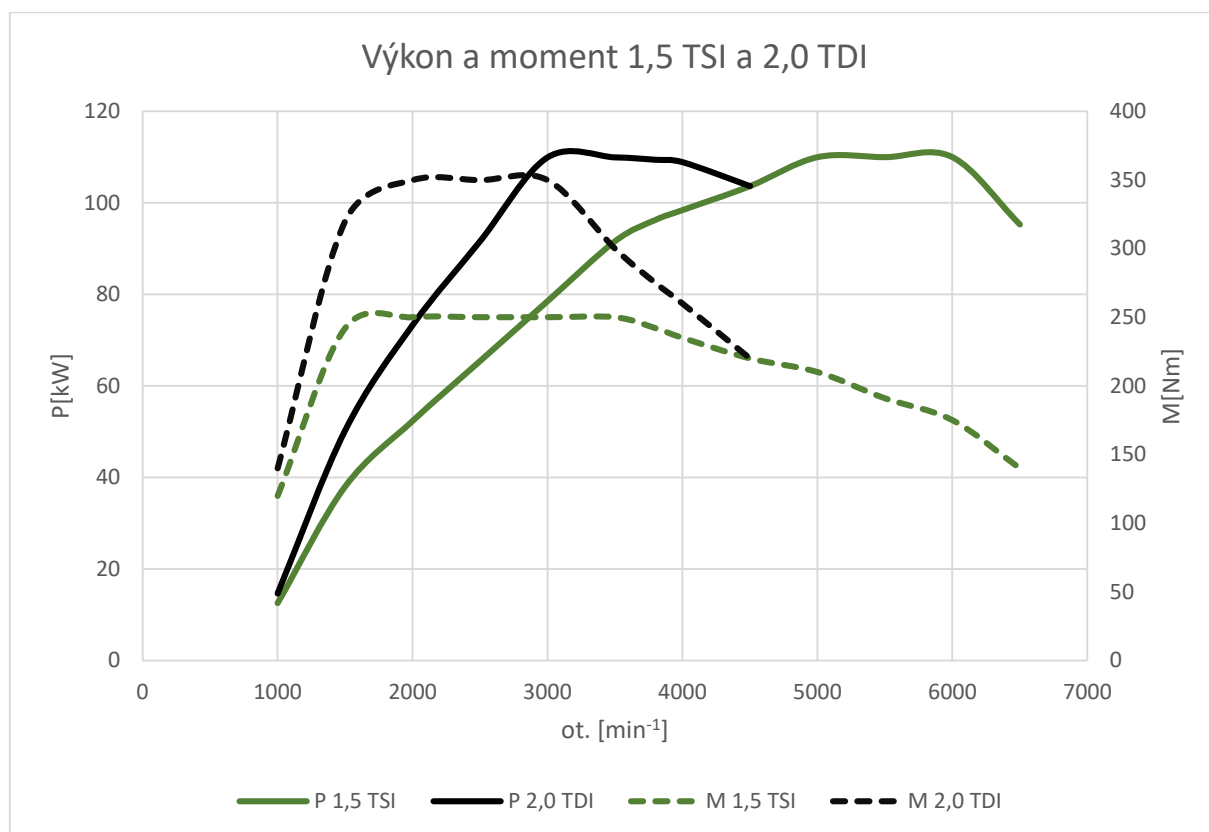
Pro porovnání byl vybrán motor 1,6 MPi 75kW z Octavie první generaci, jedná se o střední výkonovou třídu, nebyl tedy nejsilnější ani nejslabší. Jako druhý motor je vybrán motor 1,5 TSI 110kW z Octavie třetí generace. Jedná se o přeplňovanou jednotku splňující normu Euro 6 oproti atmosferické jednotce splňující normu Euro 4. Opět se jedná o střední cestu. [4], [16]



Obrázek 17: graf srovnání momentu a výkonu motorů 1,5 TSI a 1,6MPi

Běžný vůz dosahuje dnes parametrů, které odpovídají prémiovým či sportovním vozům před pár lety. Obrovský pokrok v přeplňování je zaznamenán v momentovém maximu ve velikém rozsahu otáček. Vůz tedy dokáže v tomto případě využívat maximální moment v rozsahu 1500-3500 ot. /min. Což je spektrum, které využije většina uživatelů při běžném provozu.

Dalším důležitým srovnáním je rozdíl mezi výkonovou a momentovou charakteristikou mezi vznětovým a zážehovým motorem. Porovnáváme opět zážehový motor 1,5 TSI a vznětový motor 2,0 TDI, obě jednotky jsou dostupné ve zmíněné Octavii a disponují stejným maximálním výkonem.



Obrázek 18: graf srovnání výkonových a momentových charakteristik vznětového a zážehového motoru

Prvním zásadním rozdílem je spektrum otáček, ve kterých motory pracují. Vznětový má své limity přibližně na 4500 ot. / min<sup>-1</sup>, kdežto zážehové dokáží pracovat mnohem dál, u vozů Formule 1 je to až čtyřnásobně víc. Toto je dáno zejména tepelnými charakteristikami cyklů a paliv. Vznětový motor zase dokáže vyvinout mnohem větší moment, zpřevodováním se pak rozdíl vytratí, a vznětové vozy dokáží bez problému dosáhnout stejných rychlostí jako zážehové. Jak je z grafu patrné, i vznětové motory mají výbornou turboregulaci, kdy dokáží držet maximální výkon a moment v širokém spektru otáček.

## 6.10 Provozní charakteristiky

Pro optimální funkci motoru je nesmírně důležité dosáhnout provozních teplot. V tomto případě mluvíme zejména o prohřátí olejové náplně, kde optimální teplota je přibližně 85-110°C. Doba, za kterou vůz těchto dosáhne je závislá na mnoha proměnných. Například na kubatuře, spalovaném palivu a samotné trase. Pro motor je rovněž důležité pracovat pokud možno při konstantní zátěži, přes převodování má vůz pak nízkou spotřebu a lépe se regulují emise.

Trasy můžeme obecně rozdělit na tři základní typy provozů. Prvním typem je městský provoz. Jak je již z názvu zřejmé, jedná se o provoz, kde vůz jede malými rychlostmi, často staví a rozjíždí se. Tento provozní cyklus je pro vozy nejškodlivější. Často se nestihnou ani prohřát do dosažení cíle. V tomto provozu nejvíce trpí naftové agregáty, při změnách zátěže produkují velké množství pevných částic a mají tendenci k zakarbonování, kvůli nedokonalému spalování. Do tohoto provozu jsou tedy nejlepší menší benzínové motory, není třeba větší výkon, motor se rychle prohřeje a komponenty nejsou tolik namáhané jako u naftových. Pokud zůstaneme u agregátů koncernu VW, vhodný motor je například 1.0 TSI 85kW.

Druhým typem provozního cyklu je mimoměstský. Můžeme ho charakterizovat, jako pohyb vozidla po cestě kde bývá nejčastěji rychlost omezena na 90km/h, popřípadě doplněný přejezdem menších měst. Motor je většinu času zatěžován konstantně. Jedná se o nejúspornější režim. Na těchto cestách jsou motory relativně málo opotřebované. Vhodné agregáty pro tento typ cestování jsou menší a středně velké diesely. Například 1.6 TDI nebo 2.0 TDI.

Třetím typem je dálniční provoz. Jedná se o takzvaně horký cyklus, kdy je sice motor zatěžován konstantně, kvůli vyšší rychlosti ale dosahuje vyšších provozních teplot. U naftových vozidel tak zcela odpadá zanášení DPF, který se horkými výfukovými plyny konstantně vypaluje. Doporučitelné motory jsou středně velké a velké dieselové agregáty. Například 2.0 TDI nebo 3.0 TDI.

Většina motoristů se však pohybuje na trasách smíšených z těchto tří. Jednoznačný výběr pohonu tedy většinou neexistuje.

## 6.11 Shrnutí

Ze strany zákazníků a úřadů jsou kladeny vysoké požadavky na vysoký výkon, nízké emise a spotřebu paliva. Bohužel tyto tři parametry většinou nejdou ruku v ruce. Například při spalování chudé směsi, kdy je nízká spotřeba, motor produkuje hodně NO<sub>x</sub>. Kvůli tomu jsou zaváděny systémy jako EGR nebo redukční katalyzátor. Od doby zavedení emisních norem, se emise mnohonásobně snížili, díky čemuž, je provoz spalovacích vozidel udržitelnější.

Nejdůležitější je však rozvaha koncového zákazníka při výběru pohonu. Nikdy nelze doporučit pouze jedno správné řešení, ale měli by být zváženy zejména trasy, po kterých bude vůz provozován. Pokud si motorista pořídí velký naftový šestiválec na dojíždění do práce 5km po Plzni, škodí sobě i životnímu prostředí. Nikdy nebude využitý potenciál agregátu a motor poběží v podmínkách, na které není stavěný.

## 7 Hybridní pohony

S každým novým modelovým rokem vozidel hromadně přibývají hybridní řešení pohonů vozidel. Nejedná se již pouze o spojení zážehového a elektrického motoru, ale vznětové hybridy ovládají portfolio prémiových značek ve většině modelů. Elektrické uzly pohonu zpravidla pracují v 48V soustavě a toto napětí je tedy třeba převádět na 12V pro komunikaci s palubní elektronikou. Hlavní výhodou je využití pohonu ve spektru, kde jsou neúčinnější. Elektromotor dokáže dodat veliký výkon při rozjezdu. Spalovací motor je pak relativně efektivní při konstantním zatížení.

Hybridní pohon můžeme dělit podle uspořádání elektrického ústrojí, na paralelní, sériové nebo kombinované hybridy. Nebo například podle typu spalovacího motoru. Nejčastěji se však setkáme s rozdělením podle stupně hybridizace. [11], [12], [13], [15]

### 7.1 Microhybrid

Tento typ hybridu se mezi námi pohybuje již řadu let, ač ho většinou pod tímto názvem v nabídce výrobců vozů nenajdeme. Jedná se pravděpodobně o marketingový tah, kdy je slovo hybrid šetřeno pro pokročilejší verze hybridizace. Tento systém najdeme ve vozidlech pod názvem KERS-kinetic energy recuperation system, tedy systém rekuperace kinetické energie, nebo Start-stop.

U zrodu tohoto řešení stála problematika městského provozu, kdy vozidlo stojí velkou část tohoto cyklu na místě. Dochází tak ke zbytečným akustickým a chemickým emisím a roste spotřeba paliva. Systém tedy zhasíná a startuje motor při zastavení, pokud splňuje řadu podmínek, jako například dosažení určité provozní teploty. Jedná se v podstatě o robustní startér, doplněný o alternátor, který dokáže rekuperovat energii brzdění, která by jinak byla brzdami odvedena jako ztrátové teplo. Klasický startér by takto časté startování nevydržel. Rekuperovaná energie pak nemusí být využita pouze na startování, ale slouží i jako zdroj energie pro palubní elektroniku.

### 7.2 Mild-hybrid (MHEV)

Tento systém můžeme definovat jako systém, kde elektromotor není určený k samostatnému pohonu vozidla. Výjimku tvoří verze, kde při dostatečné kapacitě baterie dokáže elektropohon pohybovat vozem malými rychlostmi v koloně. Primární využití je pak při usnadnění akcelerace, kdy jak již bylo zmíněno, disponuje elektromotor velkým momentem z klidu. Tímto však stoupl požadavek na kapacitu baterií, a je potřebná konstrukčně náročnější implementace větších článků.

Systém je samozřejmě doplněn o microhybridní technologii start-stop. V městském provozu se pak jedná o velmi efektivní řešení. Elektromotor je většinou mezi motorem a automatickou převodovkou, může nahrazovat hydrodynamický měnič. Výkon motoru bývá 10-20kW, což na účely popojíždění a pomoci spalovacímu pohonu pro rozjíždění bohatě stačí. Celkově systém neklade nijak zvlášť náročné požadavky pro konstrukci vozidel. Z tohoto důvodu se s těmito systémy hojně setkáváme v prémiovém segmentu. Jako příklad je vznětový motor Audi 50 TDI MHEV, jehož základem je třílitrový šestiválec. Úspora paliva a emisí u tohoto typu hybridního řešení bývá 15-30%, v závislosti na provozních podmínkách.

### 7.3 Úplný hybrid

Dalším typem hybridního systému jsou takzvané úplné hybridy. Elektromotor již dokáže vozem pohybovat samostatně. Vznikají tak samozřejmě vysoké požadavky pro zdroj elektrické energie, kdy v nynější fázi vývoje baterií jsou vhodné Li-ion baterie, což znamená velké nároky na zástavbový prostor a velké zvýšení hmotnosti. Toto je částečně kompenzováno tím, že je možné zmenšit spalovací jednotku. Pro dosažení stejných výkonových parametrů. Elektromotor je v tomto případě také významně větší a bývá umístěn mimo uzel spalovacího pohonu. Známým typem je plug-in, tedy hybrid do zásuvky. Jak je již z názvu zřejmé, tento systém využívá nabíjení pomocí speciálního kabelu z jakékoliv zásuvky, většinou však musí být třífázová.

### 7.4 Shrnutí

Stejně jako u spalovacích motorů správná kombinace závisí na řadě faktorů. Hybridní pohony s jejich momentálně masovým nástupem napříč modelovými řadami řešením, které bude pohánět vozidla v horizontu až desítek let. Se zvýšenou produkcí můžeme očekávat pokles ceny, i pro základnější vozidla. Úplná elektrifikace je zatím limitovaná bateriemi, takže se toto řešení jeví jako prozatím ideální. S rozvojem baterií souvisí i zavedení plných hybridů, takže aktuálním řešením v blízkém časovém horizontu budou MHEV, které jsou v podstatě již pohonem dneška.



## 8 Praktická část

V této části využijeme nabitých znalostí získaných během rešerše, pro návrh optimálního pohonu pro zvolený typ provozu.

### 8.1 Trasa

Prvním důležitým úkolem je zvolit trasu, po které bude vůz primárně provozován. Jako primární trasa je vybrána trasa mezi Českou Břízou a ZČU na Borech. Tato trasa je dlouhá přibližně 17km a přibližně polovina cesty je v městském provozu a druhá polovina příměstském.

Jednoduchým výpočtem, můžeme tedy určit, roční kilometrový nájezd na této trase.

$$L=52 \times 5 \times 2 \times 17=8840 \text{ km /rok}$$

Celkový nájezd za rok je přibližně 14 000km, dalších 5000 km pak připadá na dojíždění na volnočasové aktivity, nákupy nebo například návštěvy. Poměr tras v městském provozu je opět stejný.

Požadavkem pro výkon pohonu je 90-120kW. Z důvodu častého pohybu zemědělské techniky či autobusů, pro umožnění bezpečného předjetí. Dále občasných cest po dálnici. Dalším požadavkem je čtyřválcový motor, z důvodu kultivovanosti chodu. Z důvodu častého pohybu vozidla v městském provozu je volen typ hybridu MHEV, kde bude možné využít elektrický pohon pro popojíždění v kolonách. Toto řešení minimálně omezí vnitřní prostor.



Obrázek 19: trasa na mapě [23]

### 8.2 Měření provozní teploty

Nyní, když je známá pravidelná trasa, je možné přistoupit k určování vhodnosti typu spalovacího motoru pro tuto trasu. Měření je vhodné udělat pro širší spektrum pohonů, neboť nástup provozní teploty se liší jak s objemem motoru, tak s typem paliva, a spoustou dalších faktorů. Z důvodu dostupnosti testovacích vozidel se však bude jednat pouze o orientační měření.

#### 8.2.1 Měření vozidla

Prvním testovaným vozidlem byla Škoda Superb, rok výroby 2016, s pohonnou jednotkou 2.0 TDI 110kW, která disponuje microhybridní technologií Start-stop. Převodovka v tomto vozidle je mechatronická 6-ti stupňová DSG. Olejová náplň motoru byla naposledy měněna přibližně před 7500km před měřením, nacházela se tedy přibližně v polovině jejího životního cyklu.

Druhým testovacím vozidlem byla Škoda Octavia, rok výroby 2007, s pohonnou jednotkou 1,6 MPI 75Kw. Převodovka v tomto vozidle je manuální 5-ti stupňová. Olejová náplň motoru byla naposledy měněna přibližně také před 7500km.

Výkonové a momentové charakteristiky obou motorů již byly v této práci popsány. Vzhledem k rozdílnému objemu a typu paliva obou vozidel lze předpokládat, že se vznětový motor prohřeje až za dvakrát delší dobu.

### 8.2.2 Metodika měření

Testování bylo provedeno při venkovních teplotách mezi 16 – 19 °C a ve večerních hodinách, kdy provoz nedosahoval špičky. Průjezd Plzní byl relativně plynulý. Ve voze seděly dvě osoby. Řidič a spolujezdec zapisující údaje.

Ve voze Superb byly údaje sledovány pomocí palubní elektroniky, která umožňovala sledovat teplotu oleje a teplotu chladicí kapaliny. Vůz Octavia umožňoval pouze sledování teploty chladicí kapaliny, proto byla teplota oleje sledována za pomoci diagnostického zařízení ELM 327 a mobilní aplikace Torque. Během měření byla rovněž sledována spotřeba paliva obou vozidel. Teplotní čidla vozidel zaznamenávají teplotu až od přibližně 50 °C.

Obě vozidla stály před zahájením měření ve stínu a nebyli nastartované posledních 8h. Počáteční podmínky byly maximálně možně objektivní. Styl jízdy je možné klasifikovat jako klidný, bez předjíždění. Testované vozy se vždy drželi okolního provozu pro co největší plynulost jízdy.

Celkem proběhlo pět měření, výsledná data byla aritmeticky zprůměrovaná.

### 8.2.3 Vyhodnocení měření

Průměrná doba měření byla 56min. Při ujeté vzdálenosti 34km, na jedno měření vychází průměrná rychlost  $v_q$  na 32km/h.

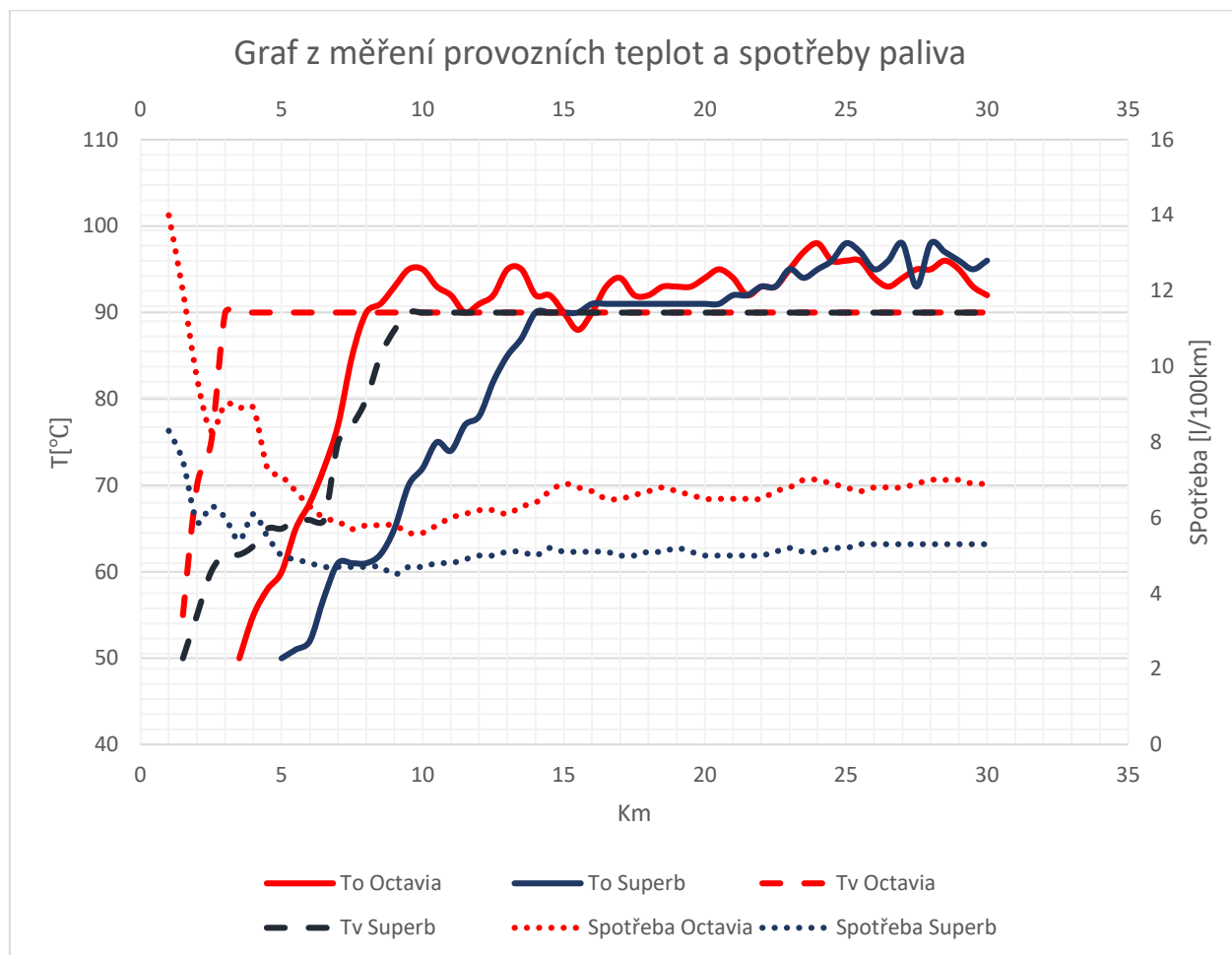
Maximální odchylka dat byla přibližně 5%, a byla způsobená zejména odlišnými prostoji na semaforech. Pro toto orientační měření se jedná o zanedbatelnou odchylku. Provozní teplota oleje ( $T_o$ ) se pohybovala okolo 90 °C. Ke konci měření teplota vystoupala až k 97°C, to bylo však dáno převýšením trasy, kdy cesta směrem od Bílé hory do České Břízy je do kopce.

Teplota chladicí kapaliny ( $T_v$ ) dosáhla svého maxima na 90°C, kde se u obou vozidel držela konstantně. Jedná se pravděpodobně o elektronické omezení ukazatelů.

Průměrná spotřeba se u obou vozidel ustálila přibližně po 5ti kilometrech. Na začátku můžeme pozorovat vysoké hodnoty vlivem stání na místě, rozjezdu, a prvotního zahřívání, aby byly motory vůbec schopné pracovat. Po zahřátí se spotřeba mírně měnila v závislosti na trase.

Octavia dosáhla provozní teploty oleje přibližně po 7km, tedy u kruhového objezdu na Bílé hoře. Teplota chladicí kapaliny dosáhla relativního maxima již po 3km. U  $T_o$  bylo možné pozorovat menší stálost než u Superbu.

Superb dosáhl provozní teploty oleje až po 13km, těsně před koncem trasy. Chladicí kapaliny se pak ohřívaly 8km. Z měření je tedy zřejmé, že je velký vznětový motor naprosto nevhodnou volbou. Možnou alternativou pro vznětový motor je tedy jednotka o menším objemu, například 1,6TDI. U této jednotky můžeme očekávat posunutí nástupu provozní teploty někde mezi testovanou Octavií a Superb. Stále ale bude u tohoto pohonu zvýšené riziko zanesení DPF nebo EGR.



Obrázek 20: graf z měření provozních teplot a spotřeby

### 8.3 Ekonomické porovnání zážehových a vznětových agregátů

Při výběru spalovacích a zážehových agregátů může být rozhodující cena a provozní náklady pro chod a údržbu vozidla. Některé společné servisní úkony, jako výměna olejové náplně, výměna rozvodů a vodního čerpadla, či provozních filtrů jsou přibližně stejně nákladné pro oba typy pohonů. Do porovnání je tedy nemá cenu počítat. Další servisní položky jsou velmi závislé například na typu používaného paliva, zejména jsou na to citlivé naftové motory, u kterých hrozí riziko poruchy vstřikovačů. Pro toto zhodnocení to opět zanedbáme, neboť budeme uvažovat, že uživatel používá kvalitní normované palivo. Co však zanedbat nelze, je pravidelná výměna zapalovacích svíček u zážehového motoru (každých 60 000km), nebo potenciální výměnu či repasi EGR ventilu a DPF filtru u vznětové jednotky, pokud předpokládáme pohyb po městě z 50% ujetých kilometrů. Servis těchto komponent lze očekávat někdy okolo 200 000km.

Pro porovnání referenčních motorů jsou vybrány motory z Octavie třetí generace, dle webového ceníku. Jako zástupce malé vznětové jednotky poslouží motor 1,6 TDI, za zážehové opět motor 1,5 TSI. Ačkoliv jednotka 1,6 TDI má pouze 85kW, po přičtení výkonu elektrického motoru se dostaneme na výkon přibližně okolo 100kW. Jedná se pouze o referenční hodnotu, která se může lišit naladěním motoru. U takto velkých vznětových motorů se běžně pohybuje výkon mezi 60-100 kW. [16]

Tabulka 5: Porovnání parametrů pro zhodnocení provozních nákladů Octavia 1,6 TDI a 1,5 TSI

Octavia 1,6 TDI Ambition			Octavia 1,5 TSI Ambition		
Spotřeba město [l/100km]		4,8	Spotřeba město [l/100km]		6,5
Spotřeba mimo město [l/100km]		3,8	Spotřeba mimo město [l/100km]		4,1
Výkon [kW]		85	Výkon [kW]		110
Servisní náklady [Kč]	EGR	27575	Servisní náklady [Kč]	Svíčky	1256
	DPF	7709			
Požizovací cena [Kč]		557 900	Požizovací cena [Kč]		543 900

### 8.3.1 Výpočet provozních nákladů

Provozní náklady budou počítány jako rozdíl pořizovací ceny, která je v tomto případě 14 000Kč. A přičítání spotřebovaného paliva a servisních nákladů vzhledem ke stanovenému ročnímu nájezdu. Jako maximální životnost vozidla budeme uvažovat 20let, tudíž 280 000km.

#### Výpočet spotřeby paliva:

Pročn<sub>i</sub> – náklady paliva na jeden rok; s - spotřeba paliva; c – cena paliva k – koeficient snížení spotřeby paliva hybridním pohonem (vzhledem k velkému podílu pohybu po městě uvažujeme 0,3);

$$P_{\text{roční}} = 14000/100 \cdot (1-k) \cdot (S_{\text{město}} + S_{\text{mimo}})/2 \cdot c$$

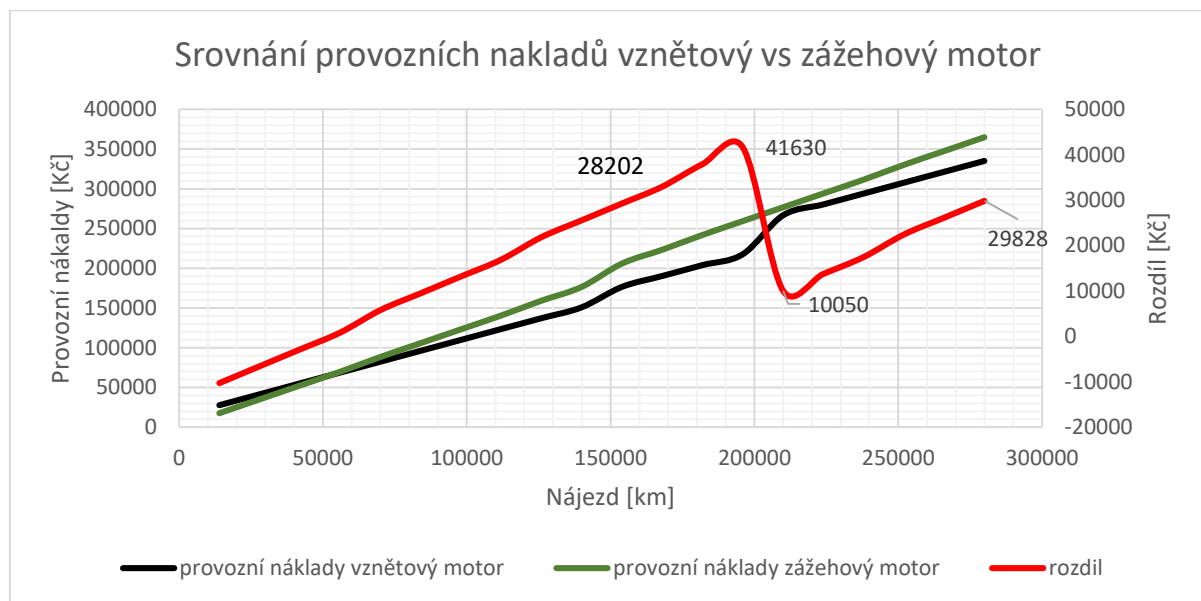
Pro 1,6 TDI tedy:

$$P_{\text{roční}} = 14000/100 \cdot (1-0,3) \cdot (4,8+3,8)/2 \cdot 32,5 \approx 13\,696 \text{ Kč}$$

Pro 1,5 TSI:

$$P_{\text{roční}} = 14000/100 \cdot (1-0,3) \cdot (6,5+4,1)/2 \cdot 33,5 \approx 17\,400 \text{ Kč}$$

Servisní náklady byly přičteny dle předpokládaných najetých kilometrů, jedná se pouze o cenu dílů, neboť náklady na výměnu se můžou lišit jednak hodinovou sazbou autoservisu, nebo dobou výměny komponenty, což může být u konkrétních vozů individuální, například zkorodování spoje.



Obrázek 21: Srovnání provozních nákladů 1,6 TDI a 1,5 TSI

### 8.3.2 Vyhodnocení porovnání

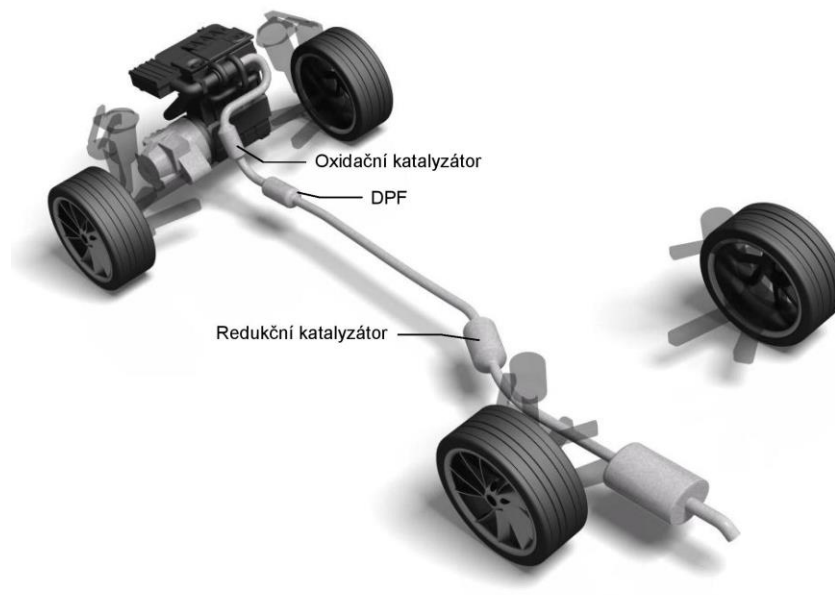
I přes vyšší počáteční investici do vznětového vozu nastane bod zlomu v jeho prospěch přibližně při 30 000km. Výhodněji pak vyjde až do konce životnosti. Důležitým zlomem je však předpokládaná investice do DPF a EGR. Která byla odhadnuta při 200 000km. Těsně předtím, byl rozdíl 41630 Kč, což již není zanedbatelná částka. Nejvhodnější je tedy průběžně sledovat stav DPF a EGR a před tím, než by byla nutná jeho výměna vůz prodat. Jedná se o časový horizont přibližně 14 let, ve kterém můžeme očekávat nástup vozů s ještě větším stupněm hybridizace, či plného elektromobilu. Vůz může následně odkoupit na protiúčet automobilka například v rámci recyklačního programu. Vhodným spalovacím motorem do hybridního systému je tedy i s přihlédnutím k provozním nákladům vznětový motor.

## 8.4 Návrh hybridního pohonu

### 8.4.1 Koncepční návrh vznětového pohonu

Vznětový motor by měl dosahovat výkonu minimálně 85kW, při zachování objemu motoru do 1,6 l. Termodynamicky bude fungovat na principu Sabatova cyklu. Jako systém pro přípravu palivové směsi, bude sloužit systém Common-rail. Samozřejmostí je systém zpětného vedení spalin pro redukci NOx. Za turbodmychadlem bude agregát opatřen oxidačním katalyzátorem, na který bude navazovat DPF. V zadní části vozu pak bude redukční katalyzátor zakončený výfukovým tlumičem.

Převodovka je planetová automatická, s měničem točivého momentu. Hlavní převodový stupeň  $i_c$  je volen 3,3; ostatní stupně  $i_n$  na 1-4,2; 2-2,4; 3-1,6; 4-1,17; 5-0,86; 6-0,72. Umístění motoru bylo vybráno před přední nápravou, s mírným náklonem tak, aby vektor těžiště směřoval nad osu kol. Toto řešení je vhodné z důvodu konstrukční jednoduchosti, oproti podélnému uložení. Navíc je toto řešení vhodnější při aplikaci pro přední pohon. Pokud by byl motor umístěn za osu, ke středu vozidla, je to sice lepší z hlediska rozložení hmotnosti, ale došlo by k dramatickému snížení prostoru pro cestující. A případné servisní úkony by to velmi ztížilo. [24]



Obrázek 22: koncepce vznětového pohonu

### 8.4.2 Koncepční návrh elektropohonu

Jako primární účel elektropohonu v hybridním celku je popojíždění v kolonách. Můžeme si tedy stanovit maximální rychlost, jakou vozidlo v koloně dosáhne na  $v = 30 \text{ km/h}$ , tedy  $8,34 \text{ m/s}$ . Bude se počítat pouze se setrvačností vozidla, jako celku, po zanedbání setrvačných účinků na kola a valivý odpor. Ten bude odhadnut v koeficientu účinnosti. Pro zachování plynulosti provozu je vhodné, aby této rychlosti dosáhlo vozidlo do času  $t = 6 \text{ s}$ . Setrvačnou sílu  $F_s$ , tedy bude muset být rovna síle na kolech  $F_k$ . Hmotnost vozidla  $m$ , stanovíme na  $1400 \text{ kg}$ .

$$F_k = F_s = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t} = 1400 \cdot \frac{8,34}{6} = 1946 \text{ N}$$

Moment na kolech je pak  $M_k$ , kde  $r_k$  je poloměr kola, v modelovém případě použijeme kola R17 s pneumatikami 225/45. Kde průměr R17 je v palcích, 225 je šířka pneumatiky a 45 je procentuální výška bočního profilu pneumatiky z jeho šířky.

$$M_k = F_k \cdot r_k = 1946 \cdot \frac{17 \cdot 0,0254 + 0,45 \cdot 0,225 \cdot 2}{2} \approx 617 \text{ Nm}$$

Moment motoru pak spočteme pomocí převodování a implementace účinností. Budeme uvažovat, že spojka elektromotoru, která je implementována k připojení elektropohonu k hřídeli převodovky, nikoliv pro rozjezd, disponuje účinností 0,98; převodovka 0,9 a samotný přenos pomocí kol 0,9. Celkovou účinnost  $\eta_{em}$  tohoto ústrojí pak získáme pronásobením.

$$\eta_{em} = 0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,9 = 0,794$$

Potřebný moment motoru  $M_m$ , uvažujeme-li rozjetí na první převodový stupeň, je pak:

$$M_m = \frac{M_k}{i_c \cdot i_1 \cdot \eta_{em}} = \frac{617}{3,3 \cdot 4,2 \cdot 0,794} \approx 56 \text{ Nm}$$

Nyní je třeba ověřit, zda lze této rychlosti dosáhnout v otáčkách shodných, nebo nižších, než jsou maximální otáčky naftového agregátu, které jsou přibližně  $4500 \text{ ot/min}$ , z důvodu absence převodu mezi naftovým a elektrickým motorem. Spočteme to opět pomocí převodového

poměru převodovky a otáček kol  $n_k$ . Otáčky kol spočteme opět pomocí rozměrů vybraných kol a pneumatik.

$$n_m = n_k \cdot i_c \cdot i_1 = \frac{v \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot r_k} \cdot i_c \cdot i_1 = \frac{8,34 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 0,315} \cdot 3,3 \cdot 4,2 \approx 3500 \text{ ot. /min.}$$

Víme, že elektromotor dokáže disponovat víceméně konstantním momentem přibližně do 2/3 maxima otáček. Což, pokud maximum otáček pro běžný elektromotor uvažujeme přibližně 6000 ot. /min, motor splňuje. Můžeme tedy přistoupit k výpočtu maximálního výkonu  $P_{em}$  k těmto otáčkám.

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_m}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3500 \cdot 56}{60 \cdot 1000} \approx 20,5 \text{ kW}$$

Výsledný výkon tedy není nereálný ve srovnání se soudobými MHEV. Nyní můžeme přistoupit k výpočtu minimální kapacity baterií. Jako typ baterie je volena Li-ion, z důvodu dostupnosti. Nejprve musíme vypočítat orientační dobu, po kterou budou denně baterie využívány. Využijeme k tomu maximální roční nájezd, a průměrnou rychlost získanou.

Denní nájezd:

$$s = \frac{14000}{365} \approx 38,36 \text{ km}$$

Průměrná doba provozu:

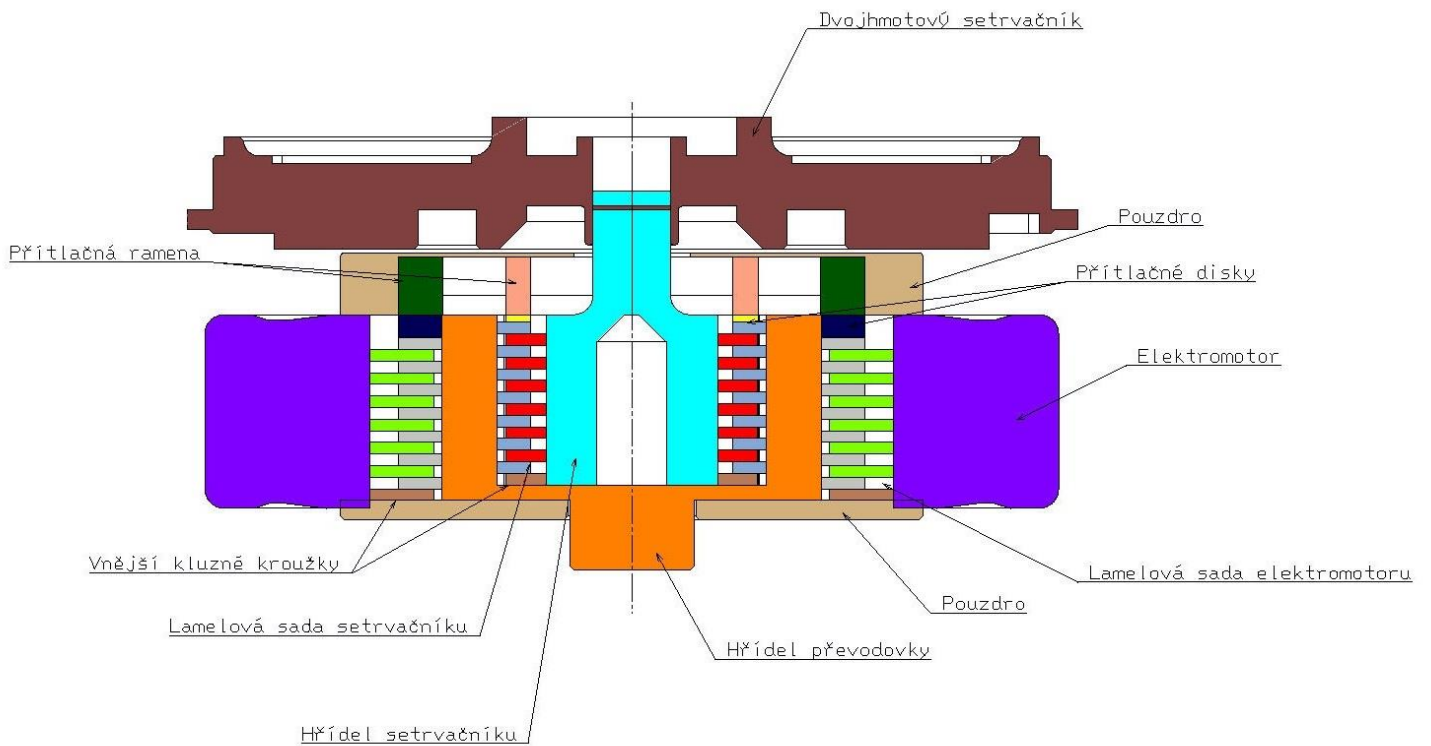
$$t = \frac{s}{v_q} = \frac{38,36}{32} \approx 1,2 \text{ h}$$

Posledními parametry jsou koeficienty účinnosti přenosu elektrické energie  $\eta_e$  a koeficient využití výkonu, to předpokládejme na 50%. Využití elektrické energie, tedy účinnost elektrického systému je volena 75%.

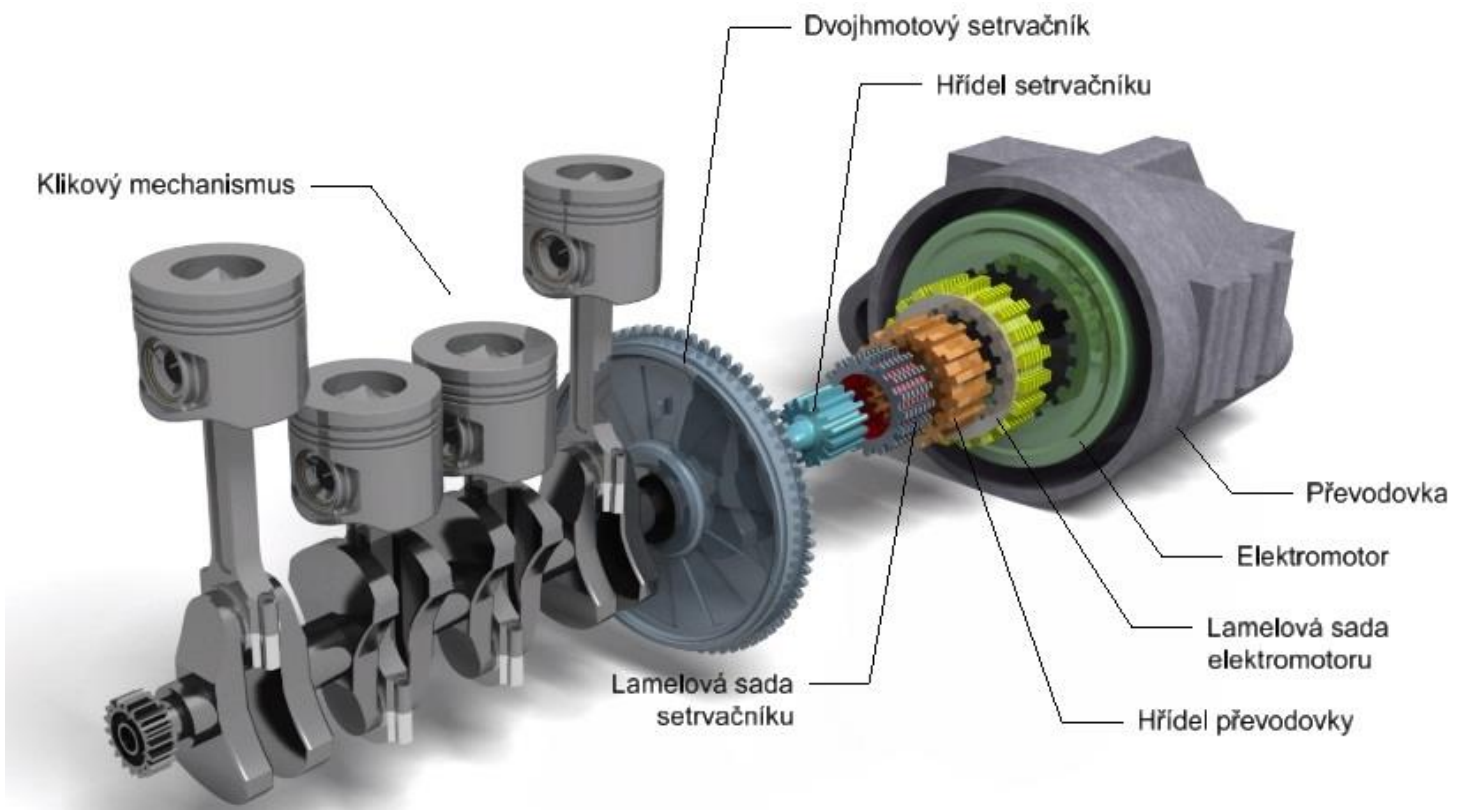
$$Q = \frac{P \cdot 0,5 \cdot 1,2}{0,75} = \frac{20,5 \cdot 0,5 \cdot 1,2}{0,75} \approx 16,4 \text{ kWh.}$$

### 8.4.3 Implementace elektropohonu ke vznětovému motoru

Nyní je třeba navrhnout systém připojování elektromotoru a spalovacího motoru tak, aby dokázali pracovat jak nezávisle na sobě, tak současně. V obou případech s co nejvyšší účinností. Na výstupu klikového hřídele je připojen dvouhmotový setrvačnick. Z něj vystupuje hřídel. Jako nejkompaktnější a nejúčinnější řešení se nabízí dvojitá lamelová spojka. Ta bude ovládána řídicím systémem elektro-mechanicky. Spojka má tedy dva vstupy, elektromotor a setrvačnick. Výstupem je hřídel do převodovky. Dalším důležitým prvkem je výkonný alternátor a výkonný startér, pro možnost dobíjení a bezproblémového startování vozidla.



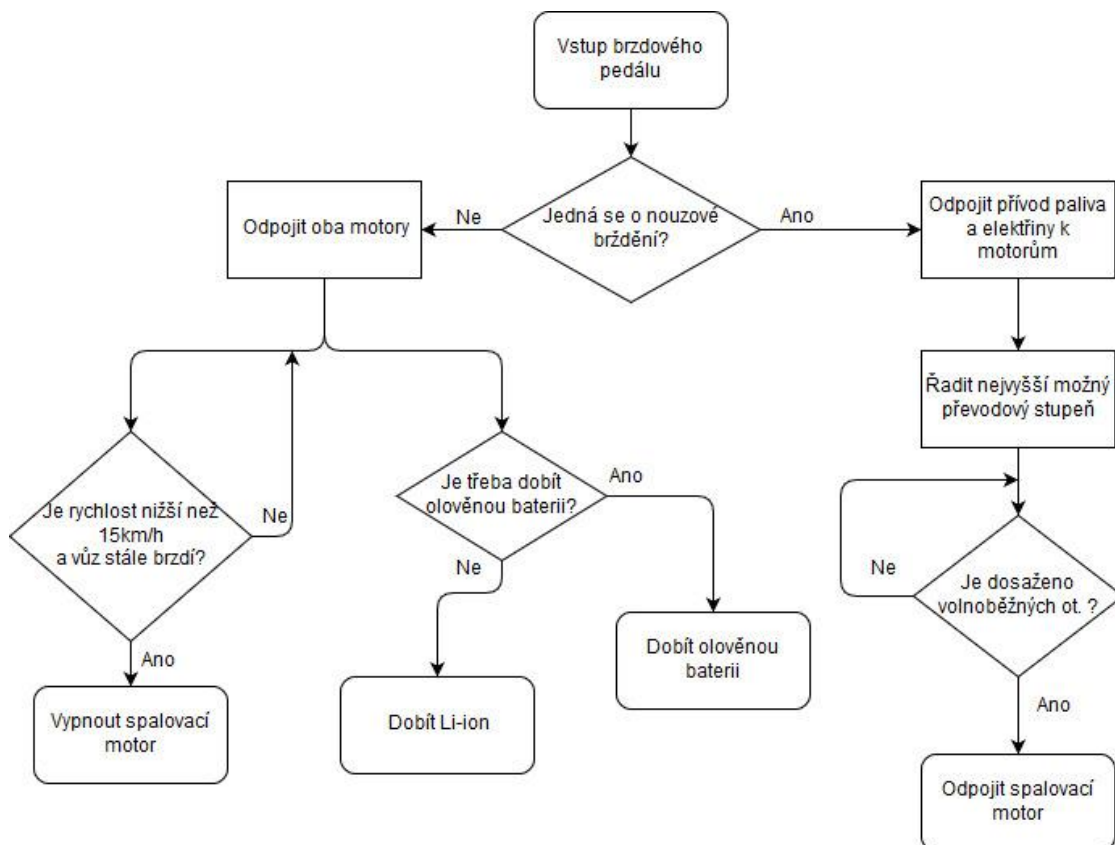
Obrázek 23: koncepce propojení motorů



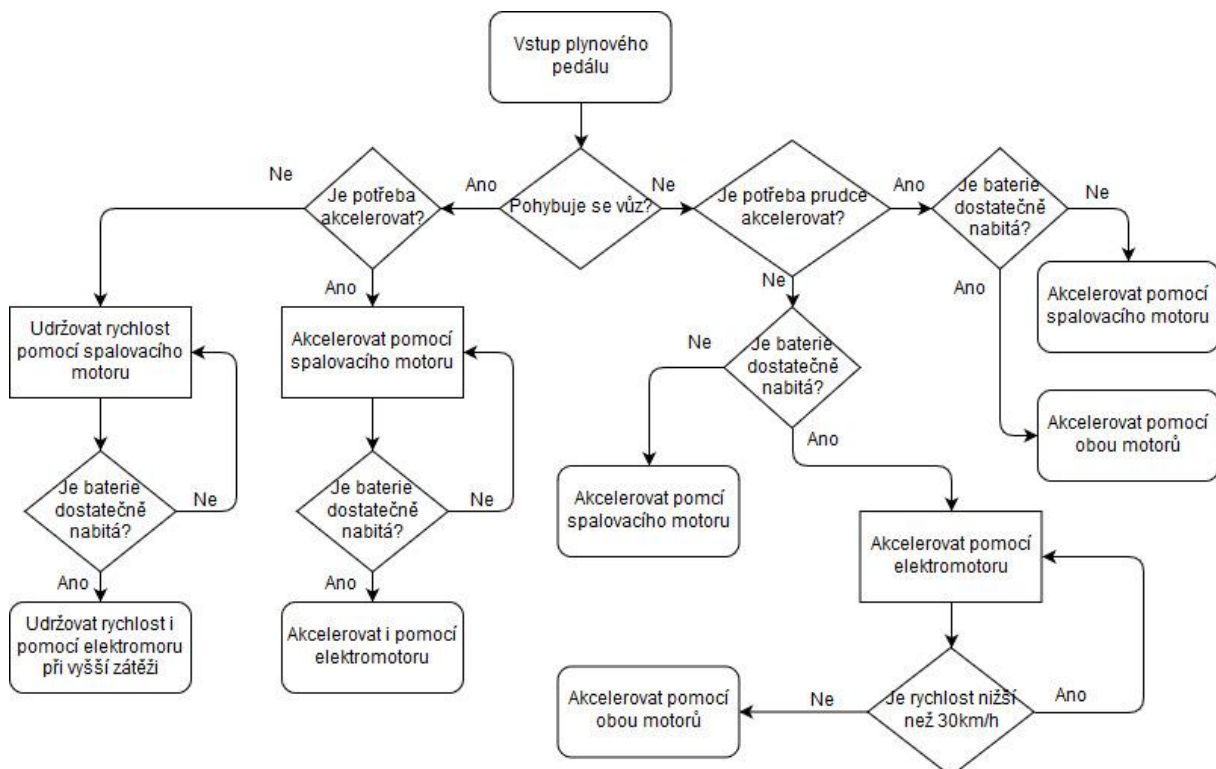
Obrázek 24: rozstřel koncepce propojení motorů



### 8.4.4 Koncepce řízení hybridního systému



Obrázek 25: Diagram řízení hybridního systému při vstupu z brzdového pedálu

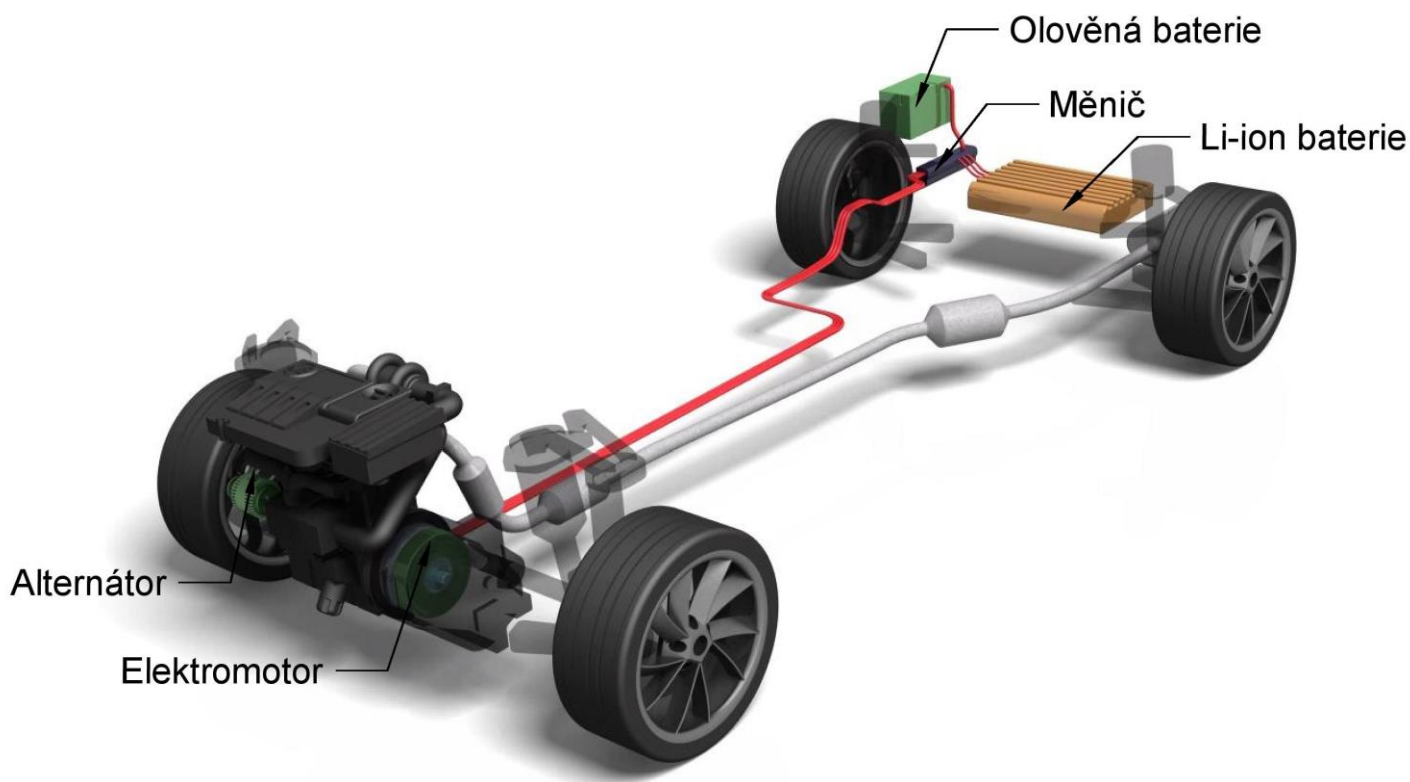


Obrázek 26: Diagram řízení hybridního systému při vstupu z plynového pedálu

Řízení hybridního systému je navrženo tak, aby maximálně využívalo elektrického pohonu. Hlavně při akceleraci a malých rychlostech. Řízení dobíjecího režimu je navrženo tak, aby se pomocí výkonného alternátoru primárně dobíjela olověná baterie. Ta slouží k napájení palubní elektroniky, řídicích systémů a komponent spalovacího motoru. Důraz byl kladen i na bezpečnost, kdy je možné využít vnitřních odporů systému k podpoře brzdného účinku při nouzovém brzdění.

#### 8.4.5 Implementace hybridního pohonu ve vozidle

Posledním krokem je koncepční implementace hybridního pohonu, jelikož vznětový pohon a elektromotor je daný. Zbývá umístit baterie a měnič napětí, který slouží k převádění napětí, které zrovna potřebujeme, neboť palubní systém využívá 12V a elektromotor 48V. V tomto bodě se je nutné držet rozměrů fiktivního vozidla a rozložení hmotnosti. Jelikož je motor umístěn před přední osou, pro ideální rozložení hmotnosti, tedy těžiště co nejvíce ve středu vozidla, se nabízí umístit baterie do zavazadlového prostoru vozidla. Pro maximální zachování objemu zavazadelníku, je Li-ion baterie umístěna za zadní nápravu. Olověná baterie a měnič jsou pak umístěni za zadní pravé kolo, neboť převodovka je v levé části vozidla. [24]



Obrázek 27: koncepce hybridního pohonu typu MHEV

## 9 Závěr

Pro dosažení udržitelnosti provozu vozidel se nejen konstruktéři, ale i například chemici, snaží nalézt co nejúčinnější řešení pro nahrazení konvenčních pohonů, tedy spalovacích. Ač se může zdát, že dny spalovacích motorů jsou sečteny, není to pravda. Minimálně v hybridních vozidlech je můžeme očekávat minimálně deset let. Jejich emisní hodnoty se pomocí nejmodernějších technologií snížily řádově, a účinnost s každým novou modelovou řadou stoupá.

Obrovská výhoda nastala při spojení s elektromotory, kdy můžeme využívat spalovací pohon, jen když je nejúčinnější. Již dnes přináší úsporu až 30% oproti samotně postaveným jednotkám. Míra hybridizace, stejně jako nástup čisté elektromobily je závislá na vývoji zdroje elektrické energie. Aktuálně nejvyužívanější Li-ion baterie jsou stále velmi drahé vzhledem ke své omezené životnosti a jejich dobíjení stále trvá příliš dlouho nato, aby byli aplikovatelné ve vozidlech, kde je vyžadován velký nájezd.

Vhodnost kombinace pohonů se liší cílovým využitím. Pro konkrétní aplikaci byl zvolen kombinovaný provoz, kdy 50% probíhá po městě a 50% na meziměstských cestách při celkovém ročním nájezdu 14 000 km. Hybridní technologie typu MHEV se ukázala zejména podle provozně-ekonomických ukazatelů vhodná ve spojení s malým vznětovým motorem, za předpokladu, že si uživatel ponechá vůz minimálně 2 roky. Řešení tohoto pohonu by mělo garantovat vyšší efektivitu využití vstupní energie při co největším zachování vnitřního prostoru. Největší výhodou je téměř úplná eliminace hlukových a výfukových emisí ve městech, zejména pak v úsecích kolon.

Provozně-ekonomický rozdíl, který primárně vychází z rozdílné spotřeby paliva oproti zážehovým jednotkám, však časem klesne pod hranici, kdy úspora již nebude ospravedlnitelná. Moderní vznětové motory jsou složitější než zážehové, jejich servis je tedy komplikovanější a nákladnější. Jsou náchylnější k poruchám při nesprávném zacházení a při stejném objemu vykazují nižší výkon, s vyšší pořizovací cenou. V budoucnu se hybridy se vznětovým motorem vyplatí pouze zákazníkům s opravdu velkým nájezdem kilometrů. Pro většinu nefiremních osobních vozidel můžeme očekávat aplikace hybridů se zážehovým motorem, dokud nebudou zcela nahrazeny elektromobily.

## 10 Použitá literatura

### 10.1 Knižní publikace

- [1] STANĚK, J., NĚMEJC, J. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005
- [2] MOTEJL VLADIMÍR. Vstřikovací zařízení vznětových motorů. České Budějovice: Kopp, 2003
- [3] MARIO RENÉ CEDRYCH. Automobily Škoda Octavia a Octavia Combi. Praha: Grada Publishing, spol. s. r. o, 3. rozšířené vydání 2001
- [4] ROBERT BOSCH GMBH. Automotive Handbook. Warrendale: SAE, 7. edice 2007
- [5] Zdeněk Jan, Ždánksý Bronislav. Automobily motory. Brno: Avid, spol. s. r. o, 6. vydání 2010

### 10.2 Publikace na internetu

- [6] SKUPINA ČEZ. Ukažte, že míříte do budoucnosti. *Elektromobilita* [online], [cit. 17. 2. 2019]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/cs/sluzby-pro-zakazniky/elektromobilita/?gclid=CjwKCAiAv9riBRANEiwA9Dqv1W9mhdINMqIMLbgDcxYt4j2yQ7\\_3t1ENI2ndh9PkWey9eiCHYotb4RoCF3EQAvD\\_BwE](https://www.cez.cz/cs/sluzby-pro-zakazniky/elektromobilita/?gclid=CjwKCAiAv9riBRANEiwA9Dqv1W9mhdINMqIMLbgDcxYt4j2yQ7_3t1ENI2ndh9PkWey9eiCHYotb4RoCF3EQAvD_BwE)
- [7] ŠMUCLER MAGAZÍN. Euro normy, ... dp. *Poradna* [online], ©13. 9. 2017 [cit. 24. 4. 2019]. Dostupné z: [https://www.smucler.cz/blog/euro-normy-jak-probiha-testovani-co-musi-vozidlo-splnovat/?gclid=CjwKCAjwwZrmBRA7EiwA4iMzBIJeCHSoOTRddsHGStWXoM7wdPKU0Bzfq1CwdwmZfxS6Z-a1RAFOYxoCZ0YQAvD\\_BwE](https://www.smucler.cz/blog/euro-normy-jak-probiha-testovani-co-musi-vozidlo-splnovat/?gclid=CjwKCAjwwZrmBRA7EiwA4iMzBIJeCHSoOTRddsHGStWXoM7wdPKU0Bzfq1CwdwmZfxS6Z-a1RAFOYxoCZ0YQAvD_BwE)
- [8] AUTOHLED. BMW i3. *Vozidla* [online], [cit. 4. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/a/bmw/i3>
- [9] HOŘČÍK JAN. Tesla Model S. *Články* [online], [cit. 4. 3. 2019]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-s-cena-dojezd-specifikace>
- [10] AUDI. Nové Audi A6. *Audi A6* [online], [cit. 5. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/a6/a6-limuzina-novy-model/design-a-filozofie>
- [11] AUDI. Nové Audi A8. *Technická data* [online], [cit. 5. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/a8/a8/technicka-data>
- [12] TOMÁŠ DUSIL. Audi MHEV, ... . *Technika* [online], ©7.6.2017 [cit. 5. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/audi-mhev-mild-hybrid-tak-trochu-jiny-hybrid-podle-audi-107350>
- [13] WORKSHOPMOTORSPORT. SACHS Performance Clutch kit. *Audi* [online], [cit. 2. 3. 2019]. Dostupné z: [https://store.worksmotorsports.com/SACHS\\_Performance\\_Clutch\\_Kit\\_p/sac.clutch.htm](https://store.worksmotorsports.com/SACHS_Performance_Clutch_Kit_p/sac.clutch.htm)
- [14] BULLOCK JOHN. Common Faults in, ... . *Diy Auto Repair* [online], [cit. 3. 3. 2019]. Dostupné z: <https://axleaddict.com/auto-repair/6-Speed-DSG-Automatic-Transmission-Faults>

- [15] -. HYBRID. -. [online], [cit. 12. 1. 2019]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/>
- [16] ŠKODA AUTO. Škoda Octavia. *Octavia* [online], [cit. 2. 5. 2019]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/modely/octavia/octavia>
- [17] VOLKSWAGEN. VW e-Golf. *e-Golf* [online], [cit. 3. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/e-golf>
- [18] -. Four stroke engine. *Energy balance* [online], ©6. 5. 2019 [cit. 7. 5. 2019]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Four-stroke\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Four-stroke_engine)
- [19] -. Ottův cyklus. *Diargam Ottova cyklu* [online], ©23. 12. 2018 [cit. 7. 5. 2019]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ott%C5%AFv\\_cyklus](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ott%C5%AFv_cyklus)
- [20] -. Termomechanika. *Sabatuv cyklus* [online], [cit. 8. 5. 2019]. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~kovarikp/TM/cviceni/Sabatuv\\_cyklus.pdf](http://home.zcu.cz/~kovarikp/TM/cviceni/Sabatuv_cyklus.pdf)
- [21] ESAKO. Mitsubshi L200. *Mitsuhishi motory* [online], [cit. 8. 5. 2019]. Dostupné z: <http://www.esako.cz/mitsubishi/mitsubishi-l200-motor-24-did-mivec-common-rail>
- [22] SEYMON. *EGR ventil*. *EGR ventil* [online], ©31. 8. 2016 [cit. 8. 5. 2019]. Dostupné z: <https://blogauto.cz/egr-ventil/>
- [23] -. Trasa Česká Bříza 19 - Univerzitní. *Plánování trasy* [online], [cit. 8. 5. 2019]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy>
- [25] -. BATTERY. *Learn*. [online], [cit. 27. 4. 2019]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/learn/>

### 10.3 Ostatní publikace

- [24] BUŇATA MARTIN. Semestrální práce z CAE: Spalovací motor. Plzeň: Západočeská univerzita, 2017

## 11 Seznam obrázků

Obrázek 1: sestava spojky [14] .....	5
Obrázek 2: řez DSG převodovou [15].....	6
Obrázek 3: graf srovnání momentu elektromotoru a zážehového motoru .....	9
Obrázek 4: E-Golf [17] .....	10
Obrázek 5: BMW i3 [8] .....	11
Obrázek 6: Tesla model S [9].....	12
Obrázek 7: píst [24].....	14
Obrázek 8: diagram cyklů motoru [18] .....	16
Obrázek 9: Ottův cyklus v p-v diagramu [19].....	16
Obrázek 10: Sabatův cyklus v p-v diagram [20].....	17
Obrázek 11: soustava sání [24] .....	19
Obrázek 12: Common-rail [21] .....	21
Obrázek 13: EGR diagram [22].....	22
Obrázek 14: povolené emise pro zážehová vozidla .....	24
Obrázek 15: povolené emise pro vznětová vozidla.....	24
Obrázek 16: povolené emise pevných částic pro vznětová vozidla .....	24
Obrázek 17: graf srovnání momentu a výkonu motorů 1,5 TSI a 1,6MPi.....	25
Obrázek 18: graf srovnání výkonových a momentových charakteristik vznětového a zážehového motoru .....	26
Obrázek 19: trasa na mapě [23].....	30
Obrázek 20: graf z měření provozních teplot a spotřeby .....	32
Obrázek 21: Srovnání provozních nákladů 1,6 TDI a 1,5 TSI.....	34
Obrázek 22: koncepce vznětového pohonu.....	35
Obrázek 23: koncepce propojení motorů .....	37
Obrázek 24: rozstřel koncepce propojení motorů .....	37
Obrázek 25: Diagram řízení hybridního systému při vstupu z brzdového pedálu .....	38
Obrázek 26: Diagram řízení hybridního systému při vstupu z plynového pedálu .....	38
Obrázek 27: koncepce hybridního pohonu typu MHEV.....	39

## 12 Seznam tabulek

Tabulka 1: porovnání běžně dostupných baterií.....	7
Tabulka 2: parametry vozidla E-Golf.....	10
Tabulka 3: parametry vozidla BMW i3.....	11
Tabulka 4: parametry vozidla Tesla Model S .....	12
Tabulka 5: Porovnání parametrů pro zhodnocení provozních nákladů Octavia 1,6 TDI a 1,5 TSI .....	33