



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PRODLUŽOVAČE DOJEZDU ELEKTROMOBILŮ

RANGE EXTENDER ENGINES FOR ELECTRIC CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Kroupa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lubomír Drápal

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: Jiří Kroupa
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Lubomír Drápal
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Prodlužovače dojezdu elektromobilů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce rešeršní povahy zaměřená na konstrukci spalovacích motorů použitých jako prodlužovače dojezdu elektromobilů.

Cíle bakalářské práce:

Popsat pohonnou soustavu osobního elektromobilu s prodlužovačem dojezdu a zdůvodnit použití této koncepce. Zaměřit se na konstrukci a parametry pístových spalovacích motorů coby prodlužovačů dojezdu elektromobilů a pojednat o motorech několika výrobců. Pojednat o provozním režimu těchto motorů a uvést alespoň základní údaje ke generátoru elektrické energie. V závěru vše zhodnotit a nastínit další možný vývoj v této oblasti.

Seznam literatury:

GUZZELLA, L., SCIARRETTA, A. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modelling and Optimization. 3rd Edition. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 412 s. ISBN 978-3-642-35912-5.

CORNEL, S. Alternative Propulsion for Automobiles. Berlin: Springer International Publishing, 2017. 336 s. ISBN 978-3-319-31929-2.

HEISLER, H. Advanced Engine Technology. 1st edition. Oxford (Great Britain): Arnold, 1995, reprint 2002. ISBN 1-56091-734-2.

MTZ Motorentechnische Zeitschrift. Wiesbaden: Springer Wieweg | Springer Fachmedien Weisbaden GmbH, 1939- . ISSN 0024-8525.

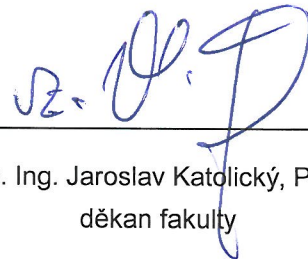
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift. Wiesbaden: Springer Wieweg | Springer Fachmedien Weisbaden GmbH, 1998- . ISSN 0001-2785.

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

V Brně, dne 19. 10. 2016



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o prodlužovačích dojezdu elektromobilů se zaměřením především na pístové spalovací motory. V první části jsou naznačeny důvody použití prodlužovače dojezdu a je také vysvětlen princip použití této koncepce v pohonné soustavě elektromobilu. Dále jsou stanoveny požadavky na spalovací motor sloužící jako prodlužovač dojezdu a z nich vyplývající parametry pro jeho vývoj. Druhá část práce pojednává o motorech konkrétních výrobců. Tři motory jsou rozebrány podrobně s důrazem především na vývoj, technické parametry a provozní režim. Jsou uvedeny i další prodlužovače s jejich základními parametry. V závěru je zmíněn přínos prodlužovačů dojezdu a je nastíněn další možný vývoj v této oblasti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Prodlužovač dojezdu, elektromobil, hybridní automobil, spalovací motor, pístový motor, baterie, emise, hluk

ABSTRACT

This bachelor thesis is about range extender engines for electric cars with focusing primarily on piston combustion engines. In the first part, reasons for using range extender are indicated and the principle of use in powertrain of electric vehicle is explained. Requirements for a combustion engine working as range extender are stated with their impact on development parameters of this engine. The second part describes manufacturers with their range extenders. Three engines are described in detail with emphasis on development, technical parameters and operating strategy. Another range extenders with their basic parameters are mentioned too. Conclusion refers about benefits of using range extenders and their future development is estimated.

KEYWORDS

Range extender, electric car, hybrid car, combustion engine, piston engine, battery, exhaust emission, noise

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kroupa, J. *Prodlužovače dojezdu elektromobilů*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Lubomír Drápal.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. května 2017

.....

Jiří Kroupa

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Lubomíru Drápalovi za cenné rady a připomínky při tvorbě práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za podporu.

OBSAH

Úvod	10
1 Hybridní vozy	13
1.1 Koncepce hybridního pohonu	13
1.2 Pohonné ústrojí hybridního vozidla	15
1.3 Porovnání účinnosti sériového a paralelního uspořádání	16
2 Elektromobily s prodlužovačem dojezdu	18
2.1 Elektrické součásti pohonného ústrojí elektromobilu s prodlužovačem dojezdu	19
3 Prodlužovače dojezdu	22
3.1 Použití prodlužovačů dojezdu	22
3.2 Obecné požadavky na prodlužovač dojezdu	22
3.3 Výkonové požadavky na prodlužovač dojezdu	23
3.4 Velikost prodlužovače dojezdu	24
3.5 Ekonomická a hmotnostní výhoda prodlužovače dojezdu	25
3.6 Provozní režim prodlužovače dojezdu	26
3.7 Akustika prodlužovače dojezdu	26
4 Mahle Powertrain	28
4.1 Vývoj	28
4.2 Parametry prodlužovače dojezdu	30
4.3 Generátor	32
4.4 Blok motoru, písty, válce	32
4.5 Sání a výfuk	32
4.6 Provozní režim	33
5 Rheinmetall automotive	35
5.1 Vývoj	35
5.2 Parametry prodlužovače dojezdu	36
5.3 Blok motoru	37
5.4 Generátor	37
5.5 Provozní režim	38
6 BMW W20	40
6.1 Vývoj	40
6.2 Parametry prodlužovače dojezdu	40
6.3 Konstrukční prvky motoru	41
6.4 Mazání a chlazení	42
6.5 Sací a výfukový systém	43
6.6 Provozní režim	43

7	Další prodlužovače dojezdu.....	45
7.1	AVL	45
7.2	Rotax BRP	46
7.3	Lotus engineering – Fagor Ederlan.....	47
7.4	FEV	48
7.5	Huttlin-kugelmotor	49
	Závěr.....	50
	Seznam použitých zkratek a symbolů	56

ÚVOD

S rostoucí populací na Zemi roste i počet automobilů. Nynější automobilová flotila čítá asi miliardu automobilů, přičemž se předpokládá růst počtu vozidel na 1,7 miliardy v roce 2030 [1]. Paralelně se zvyšujícím se počtem automobilů logicky roste i produkce škodlivých plynů. Mezi ně se řadí hlavně oxidy dusíku (NO, NO₂), uhlovodíky (HC) a oxid uhelnatý (CO). Dá se mezi ně řadit i oxid uhličitý – CO₂, skleníkový plyn, který, díky svojí rozdílné propustnosti záření o různých teplotách (tzn. vlnové délce), zadržuje v naší atmosféře teplo, a tím způsobuje globální oteplování. [2]

Tyto produkty dopravního průmyslu způsobují velké problémy především ve velkoměstech, kde je koncentrace automobilů nejvyšší. Jako odstrašující příklad můžeme uvést čínská velkoměsta a jejich aglomerace. Samozřejmě se na tomto problému podílí i další odvětví lidské činnosti, ale dopravní prostředky se spalovacím motorem na tom mají výrazný podíl. Tím vzniká tlak na redukci výfukových plynů. V Evropě je v platnosti emisní norma EURO. Tato norma ošetřuje množství výše popsaných látek a pevných částic ve výfukových plynech osobních a nákladních automobilů, prodávaných v Evropské unii. Norma je vydávána už od roku 1992 (EURO I) a postupně je zpříšňována. Dnes je v platnosti norma EURO VI, která vzešla v platnost v roce 2014. [3]



Obr. 1 Smog v čínském městě Zhengzhou [38]

Vedle snahy omezit škodlivé plyny přímo ze spalovacích motorů se hledá i jiná, alternativní cesta. Zvyšuje se tlak na využívání obnovitelných zdrojů energie. Ta má oproti fosilním palivům i výhodu své teoretické nevyčerpatelnosti. Obnovitelným zdrojem se dá označit tok energie, který je člověk schopen využít, ale zároveň ho svou činností nebrzdí a nevyčerpává. Na naší planetě se jedná především o energii slunečního záření a z ní odvozených energií

větru a vody. Minoritní podíl na obnovitelných zdrojích mají například přílivová energie nebo energie z biomasy. [4]

Aby byl člověk schopen tuto energii využít v dopravních prostředcích, musí jí převést na energii elektrickou. Tím se logicky otevírá prostor pro vývoj a zdokonalování elektromobilů.

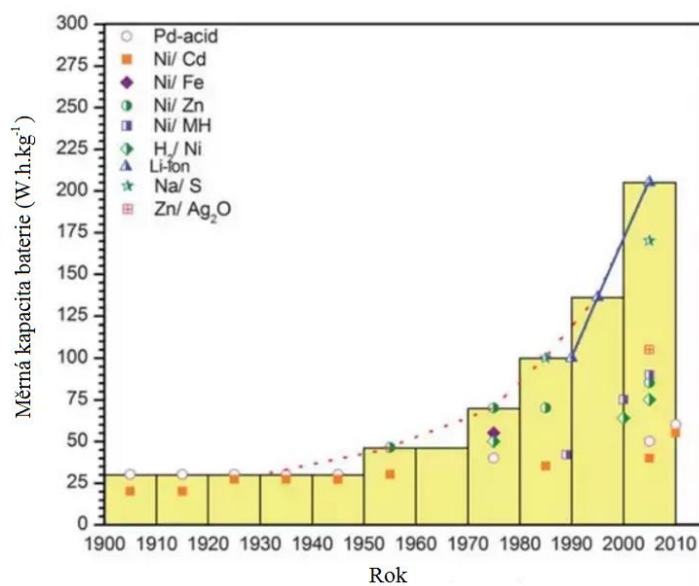
První elektromobily však začaly vznikat dávno předtím, než lidstvo začalo řešit stav ovzduší. První sériový elektromobil se začal vyrábět na území tehdejšího Rakouska-Uherska, a to ve Vídni roku 1896. Tyto vozy vznikaly v továrně na kočáry J. Lohner. Na jeho zrodu se podílel jeden z hlavních mužů automobilového průmyslu, Ferdinand Porsche. Tento německý vizionář a konstruktér vytvořil v roce 1901 také první automobil s prodlužovačem dojezdu. Nazýval se Mixte a obsahoval benzínový motor a dynamo, které dodávalo energii elektromotorům v nábojích kol. [1], [5]



Obr. 2 Lohner-Porsche Mixte [48]

Časem se však od tohoto zdroje energie v dopravě upustilo. Hlavním důvodem byl velký pokrok v rozvoji a efektivitě spalovacích motorů. Svoji roli hrál také dosti omezený dojezd těchto vozů.

V dnešní době se však elektromobily opět dostávají do středu zájmu. Důvody jsou popsány v úvodu kapitoly. V roce 2023 bude požadovaný průměr vozového parku v EU činit $95 \text{ gCO}_2 \cdot \text{km}^{-1}$ [1]. Zůstaly však problémy, se kterými se potýkali už i naši předci. Na Obr. 3 je zobrazen vývoj měrné kapacity baterií v čase. Měrná kapacita udává množství uložené energie v 1 kg látky. Je patrné, že baterie prodělaly významný posun vpřed, avšak fosilní paliva mají zatím měrnou kapacitu větší. Baterie nyní dosahují kapacity asi $220 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$, avšak benzín dosahuje $12\,780 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$ a diesel $12\,500 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$. Také dobíjecí stanice se hustotou sítě ani zdaleka nevyrovnají stanicím benzínovým. [6]



Obr. 3 Vývoj měrné kapacity baterií v čase [47]

Proto se v poslední době stal fenoménem koncept, kdy elektromobil obsahuje klasicky baterie a elektromotor, je však do koncepce přidán i malý (v porovnání s čistě spalovacími automobily) spalovací motor. Takto koncipované vozy se nazývají elektromobily s prodlužovačem dojezdu a dají se označit také přívlastkem hybridní.

1 HYBRIDNÍ VOZY

Termín hybrid vychází z latinského slova *hybrida*. Doslovný překlad není pro tuto práci důležitý, důležitý je však jeho význam. Znamená spojení dvou a více rozdílných věcí, v našem případě koncepcí pohonu automobilu. Hybridní vozidla se dají rozdělit podle koncepce na:

- konvenční hybridy (HEV)
- plug-in hybridy (PHEV)

Hybridy se také mohou dělit podle dalšího kritéria, a tím je schéma zapojení součástí do pohonného ústrojí. Dělení je následovné:

- paralelní uspořádání
- sériové uspořádání
- sériově-paralelní uspořádání

Do skupiny hybridů nelze zařadit čistě elektrická vozidla (EV), jelikož nesplňují definici tohoto slova. Pokud se však do pohonného ústrojí přiřadí spalovací motor, vznikne automobil koncepce REEV (Range-Extended Electric Vehicle). Ten už by se tímto termínem označit dal, jelikož princip pohonu má hybridní charakter. Avšak myšlenka obou typů automobilu je mírně rozdílná. Proto se různí názory, zda je možné vozidla koncepce REEV zařadit do kategorie hybridních vozů. Z tohoto důvodu bude úvodem této práce rozebrán princip hybridního pohonu, avšak elektromobil s prodlužovačem bude zařazen do vlastní kategorie, ve které budou popsány shodnosti a podobnosti s hybridy.

1.1 KONCEPCE HYBRIDNÍHO POHONU

1.1.1 KONVENČNÍ HYBRIDY (HEV)

Jedná se o jednodušší a méně efektivní variantu. Baterie nejsou schopny se dobíjet z běžné elektrické sítě a mají menší kapacitu. Dobíjení probíhá pouze přes alternátor stejně jako u konvenčního vozu (pouze při nízkých požadavcích na výkon), nebo rekuperací kinetické energie brzdění. Standardní spalovací automobil spoléhá při deceleraci na frikční brzdy, které uvolňují energii v podobě tepla vznikajícího třením do okolí. Konvenční hybrid však obsahuje elektromotor s možností fungovat v režimu generátoru, který kinetickou energii převede na elektrickou, kterou posléze využije při opětovné akceleraci. To vede k nepatrnému snížení spotřeby a tím i emisí. [7]

Spalovací jednotka se prakticky neliší od běžného spalovacího automobilu, takže tato koncepce nebude rozebrána detailněji. Příkladem tohoto druhu pohonu je například Hyundai Ionic Hybrid, používající klasický sériový zážehový spalovací motor 1,6 GDI:

- řadový čtyřválec, rozvody DOHC, 4 ventily na válec
- zdvihový objem: 1 580 cm³
- max. výkon: 77,2 kW při 5 700 min⁻¹
- max. točivý moment: 147 N·m při 4 000 min⁻¹

V kombinaci s elektromotorem o výkonu 32 kW je soustava schopná vyvinout výkon až 104 kW. [8]



Obr. 4 Hyundai Ionic Hybrid [39]

1.1.2 PLUG-IN HYBRIDY (PHEV)

Jak už sám název napovídá, plug-in hybridy lze nabíjet ze standardní elektrické sítě. Baterie jsou větší než u konvenčního hybridu. Většina vozů je nastavena tak, že po startu s dobrou baterií jedou čistě na elektrický pohon. Po poklesu úrovně nabití baterie se připojí i spalovací motor připojený do pohonného ústrojí buď paralelně, nebo sériově. Představitelem této kategorie je Toyota Prius PHV. [9]



Obr. 5 Toyota Prius PHV [40]

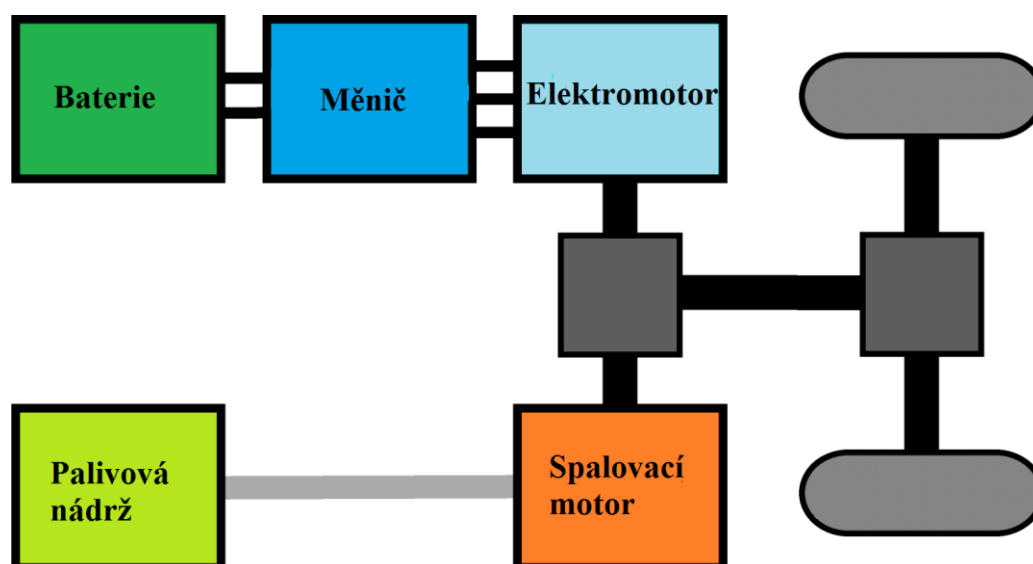
1.2 POHONNÉ ÚSTROJÍ HYBRIDNÍHO VOZIDLA

Pohonné ústrojí hybridního vozu vždy obsahuje elektromotor, akumulátor, generátor a spalovací motor. Jak již bylo řečeno, dělí se podle toho, jaké je uspořádání těchto součástí:

- paralelní uspořádání
- sériové uspořádání
- sériově-paralelní uspořádání

1.2.1 PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ

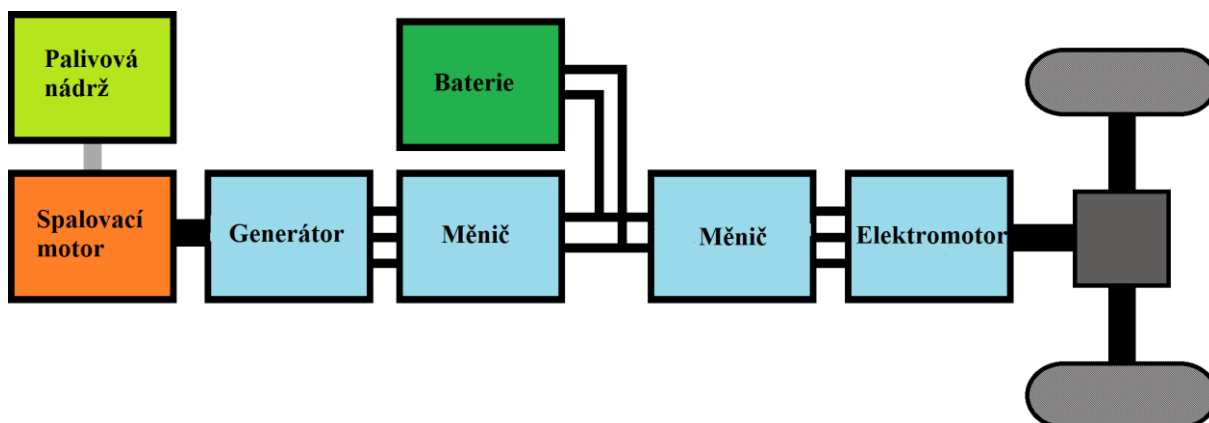
U paralelní koncepce jsou spalovací motor a elektromotor řazeny vedle sebe a oba jsou mechanicky spojeny přes převodovku s koly. K pohonu mohou sloužit oba dva najednou nebo pouze jeden z nich podle toho, která varianta je vzhledem k rychlosti efektivnější. Výhodou je, že mechanická energie není převáděna na elektrickou a zase zpět, takže má pohonný systém menší ztráty než sériový hybrid. [10], [1]



Obr. 6 Paralelní uspořádání pohonné soustavy hybridního vozu [41]

1.2.2 SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ

Hybridní vozidlo sériové koncepce obsahuje spalovací motor, generátor a elektromotor. Tyto součásti jsou, jak už z názvu vyplývá, zapojeny do série. To znamená, že spalovací motor je mechanicky spojen pouze s generátorem a tím vyrábí elektrickou energii. Ta je převedena zpět na mechanickou energii elektromotorem. Mezičlánkem mezi generátorem a elektromotorem je baterie, kde může být energie ukládána. Při nízkém zatížení bere elektromotor energii z baterie, při vysoké i přímo z generátoru. [10], [1]



Obr. 7 Sériové uspořádání pohonné soustavy hybridního vozu [42]

1.2.3 SÉRIOVĚ-PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ

Existuje i kombinace výše zmíněných koncepcí. U těchto vozidel může spalovací motor pohánět kola i generátor podle toho, co řídicí jednotka uzná za efektivnější. Obecně platí, že při nízkých rychlostech se vůz chová jako sériový a při vyšších jako paralelní. Efektivita je však vykoupena nákladností pohonného ústrojí. Tento model používá například Toyota se svým vozidlem Prius. [10]

1.3 POROVNÁNÍ ÚČINNOSTI SÉRIOVÉHO A PARALELNÍHO USPOŘÁDÁNÍ

Jak už bylo výše zmíněno, paralelní uspořádání je jednodušší na převod energie z jedné formy na druhou. Toto tvrzení potvrzují i rovnice (1) pro sériové uspořádání a rovnice (2) pro uspořádání paralelní. [1]

$$\eta_s = \eta_{sm} \eta_g \eta_m^2 \eta_{bn} \eta_{bv} \eta_{em} \eta_{pr} \quad (1)$$

$$\eta_p = \eta_{sm} \eta_{pr} \quad (2)$$

Kde:

η_{sm} = účinnost spalovacího motoru

η_g = účinnost generátoru

η_m = účinnost měniče

η_{bn} = účinnost nabíjení baterie

η_{bv} = účinnost vybíjení baterie

η_{em} = účinnost elektromotoru

η_{pr} = účinnost převodovky

Z rovnic (1) a (2) vyplývá, že účinnost sériového uspořádání je závislá na účinnosti elektrického systému a je vždy menší než u paralelního, jelikož jednotlivé účinnosti jsou vždy menší než 1. Hodnoty účinnosti jednotlivých součástí elektrického systému můžete najít v Tab. 1.

Tab. 1 Účinnost komponent [1]

Komponenta	Účinnost η_x (1)
Generátor	0,8–0,96
Měnič	0,95
Baterie	0,9–0,95
Elektromotor	0,8–0,96

2 ELEKTROMOBILY S PRODLUŽOVAČEM DOJEZDU

Elektromobily se spalovacím motorem prodlužujícím dojezd jsou specifickou kategorií hybridních vozů, jelikož toto označení v názvu nemají, ačkoliv definici slova splňují. Filosofie je však mírně rozdílná. Proto jsou v této práci zařazeny do vlastní kategorie. Všechny dříve zmíněné hybridy se od počátku projektují jako vozidla kombinující pohon na elektrickou energii i fosilní paliva. Kdežto elektromobil má primární a řídicí jednotkou preferovaný pohon elektrický, ke kterému se prodlužovač přidá jen v případě kritického nedostatku energie v akumulátorech. V některých vozech dokonce při vybitých bateriích a generování energie prodlužovačem dojezdu není poskytován plný výkon. Generátor tak slouží pouze k nouzovému dojetí ke zdroji elektrické energie.

Přesto je to v mnoha věcech automobil technicky podobný, nebo dokonce shodný, jako dříve popsané hybridní koncepce. Zapojení prvků do pohonné soustavy je shodné se sériovým hybridem, tzn. sériové, zobrazené na Obr. 6. Je zde podobnost také s plug-in hybridem, jelikož baterie jsou, jakožto hlavní zdroj pohonu, dobíjeny především z elektrické sítě. Což je s návazností na čistě elektrický vůz logické. Tuto koncepci můžeme vidět například u modelu BMW i3 REX.



Obr. 8 BMW i3 REX [43]

2.1 ELEKTRICKÉ SOUČÁSTI POHONNÉHO ÚSTROJÍ ELEKTROMOBILU S PRODLUŽOVAČEM DOJEZDU

2.1.1 ELEKTROMOTOR

Elektromotor je točivý elektrický stroj, který převádí energii elektrickou na mechanickou. Dělení podle druhu přiváděné elektrické energie [11]:

- Stejnoseměrné
- Střídavé
 - Jednofázové
 - Trojfázové

Dělení podle principu činnosti:

- Asynchronní elektromotor
- Synchronní elektromotor

ASYNCHRONNÍ TROJFÁZOVÝ ELEKTROMOTOR

Tento typ pracuje na principu indukčního zákona. Kolem trojfázového vinutí statoru se vytváří magnetické pole, které indukuje proud ve vinutí rotoru. Tím vzniká magnetické pole i kolem rotorového vinutí a dochází k interakci magnetických polí a k rotaci rotoru. Asynchronicita spočívá v rozdílu otáček točivého magnetického pole statoru a otáček rotoru. Veličina popisující rozdíl se nazývá skluz. Řízení otáček může být prováděno více způsoby, ale nejčastější a nejmodernější je řízení pomocí frekvenčního měniče. Je často používán v oblasti dopravních strojů (výtahy, eskalátory) a obráběcích strojů.

STEJNOSMĚRNÝ MOTOR

Historicky nejstarší elektromagnetický stroj. Funguje také na magnetickém (indukčním) principu a je také tvořen státorem a rotorem. Stator obsahuje buď permanentní magnet, nebo elektromagnet. Ten působí na vinutí rotoru, kterým protéká stejnosměrný proud, silou, která působí kolmo na siločáry magnetického pole statoru a také kolmo na proud ve vinutí. Tím vznikne moment. Až se dostane rotor do polohy, kdy síla protíná osu rotace, přepne komutátor póly proudu a tím se změní směr sil. Poloha, kdy síla protíná osu, je překonána setrvačností. Dříve byly stejnosměrné motory používány v těžkém průmyslu (válcovací stolice, těžební stroje, jeřáby), dnes jsou však nahrazovány střídavými motory. [12]

SYNCHRONNÍ MOTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY

Jedná se o nejpoužívanější typ elektromotoru v automobilech. Dříve byly používány pouze jako generátory, avšak s rozvojem možností řízení otáček pomocí měničů frekvence se začaly synchronní stroje používat i jako trakční motory. Jedná se o indukční stroj. Jak už název napovídá, otáčky točivého magnetického pole a rotoru jsou shodné. Budící vinutí používané

u klasických synchronních strojů je nahrazeno permanentními magnety a tím se eliminují budící ztráty, čímž se zvýší účinnost. Dojde také k zjednodušení konstrukce a zmenšení rozměrů. Zápor je však cena permanentních magnetů. [13], [14]

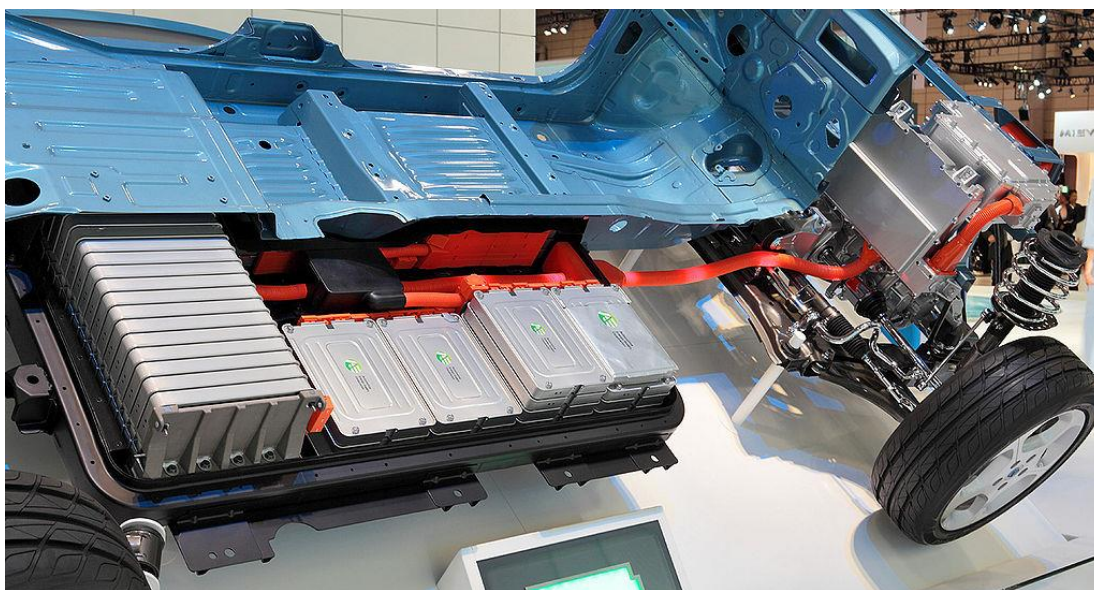
2.1.2 BATERIE

Baterie je zařízení akumulující energii. V našem případě energii elektrickou. U elektromobilů se jedná o takzvané trakční baterie, které mají rozdílnou konstrukci oproti klasickým autobateriím. Jsou stavěny na hluboké vybití a elektrody vydrží časté nabíjení a vybíjení. Baterie jsou také součástí elektromobilů, která nejvíce brzdí jejich rozšíření, jelikož jejich měrná kapacita je nižší než u jiných zdrojů energie (např. benzín), viz. Úvod. To je příčinou kratšího dojezdu.

Dříve byly používány především **olověné** baterie, které se, díky nízké ceně a schopnosti dodávat vysoký proud, pro aplikaci v automobilech hodily. V důsledku jejich špatných ekologických parametrů se však používat přestaly. Ve srovnání s ostatními mají také velkou hmotnost. [15]

Další jsou akumulátory na bázi **niklu**, tedy NiCd a NiMH akumulátory. Prvně jmenované akumulátory dobře snášejí hluboké vybití, ale mají nižší měrnou kapacitu a kadmium je, podobně jako olovo, toxické. NiMH baterie mají oproti nim přibližně dvojnásobnou kapacitu. U obou typů se projevuje tzv. paměťový efekt, tj. nabíjením pouze částečně vybité baterie se snižuje její kapacita. [15]

Nejpoužívanější jsou **lithiové** baterie, značené Li-ion. Dosahují vysokého jmenovitého napětí, mají vysokou hustotu energie a pomalé samovybíjení. Jsou však dražší a při nesprávném používání hrozí exploze. [16]



Obr. 9 Trakční baterie elektromobilu Nissan Leaf [49]

2.1.3 MĚNIČ

Měnič slouží ke změně parametrů elektrické energie, například napětí, proudu nebo frekvence. Jsou 4 základní typy přeměny elektrické energie: [17]

STŘÍDAČ (DC/AC)

Jedná se o součástku používanou v elektromobilu mezi baterií a střídavým motorem, která převádí stejnosměrný proud z baterie na střídavý proud, potřebný k chodu střídavého asynchronního nebo synchronního motoru. U stejnosměrných motorů tedy střídač chybí.

STEJNOSMĚRNÝ MĚNIČ (DC/DC)

Slouží ke změně parametrů energie stejnosměrného proudu. Tímto parametrem je napětí a jeho velikost.

STŘÍDAVÝ MĚNIČ (AC/AC)

Střídavý měnič slouží ke změně velikosti napětí a kmitočtu u střídavého proudu.

USMĚRŇOVAČ (AC/DC)

Usměrňovač se nachází mezi generátorem, který produkuje střídavé napětí, a baterií. Princip jeho funkce je opačný než u střídače, tedy převádí střídavý proud na výstupu generátoru na proud stejnosměrný, který je nutný k nabití baterie.

2.1.4 GENERÁTOR

Generátor je stroj přeměňující mechanickou energii na energii elektrickou. Konstrukčně se generátor neliší od motoru, tudíž platí i stejné rozdělení. Stejnosměrný generátor se nazývá dynamo. V elektromobilech se však používají výhradně střídavé synchronní generátory s permanentními magnety, konstrukce je shodná s příslušným motorem. Generátory v elektromobilech jsou ve většině případů v jednom bloku s prodlužovačem dojezdu. Často je rotor spojen přímo s klikovou hřídelí. [13]

3 PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

3.1 POUŽITÍ PRODLUŽOVAČŮ DOJEZDU

Důvod použití prodlužovačů dojezdu je naznačen již v úvodu. Jedná se o jakýsi můstek, který spojuje obě koncepce pohonu, tedy elektrickou i spalovací, s jejich klady i zápory. Samotné spalovací motory pravděpodobně časem přestanou plnit přísné limity, avšak infrastruktura ani technologie pro provoz elektromobilů ještě nejsou rozvinuty. Při výběru auta si kupující vždy položí otázku týkající se dojezdu. Pokud s odpovědí nebude spokojen, těžko si vozidlo pořídí, jelikož omezený dojezd a dlouhá doba dobíjení snižuje komfort používání. [18]

U systému FEV LiiON Drive od německé firmy FEV Motorentechnik GmbH se při provozu čistě na elektrický pohon dosáhne dojezdu cca 80 km. To je vzdálenost, která člověka velmi omezuje a vystačí maximálně na dopravu po městě. Se zapojením spalovacího Wankelova motoru se dostaneme až na 300 km na jednu plnou nádrž benzínu. Tato hodnota už je akceptovatelná i pro meziměstský provoz. Navíc síť benzínových stanic je velmi hustá. [18]

Je potřeba vzít v potaz i další věc, která podstatně ovlivňuje dojezd. Tím je vytápění interiéru vozu. Elektromotor produkuje jen minimum odpadního tepla, takže se k topení musí použít energie z baterií a tím dojde k dalšímu omezení dojezdu. Přidáním spalovacího motoru, který teplo produkuje jako vedlejší produkt, se tento problém vyřeší. Tím se opět zvýší pravděpodobnost akceptace zákazníkem.

3.2 OBECNÉ POŽADAVKY NA PRODLUŽOVAČ DOJEZDU

Prodlužovač dojezdu se dá charakterizovat jako termodynamická jednotka, která přeměňuje tepelnou energii, získanou při hoření paliva, na energii mechanickou. Ta je posléze přeměněna v generátoru na energii elektrickou. Takováto definice by však byla moc obecná. Požadavky na smysluplný provoz v elektromobilu tento výběr podstatně zužují. Požadavky jsou následující [18]:

- malé rozměry
- malá hmotnost (cca 50 kg)
- nízká cena vývoje a výroby (cca 1 000 Euro)
- nízký obsah emisí
- snadné startování
- excelentní NVH charakteristika
- limitovaný rozsah výkonu (20–35 kW)
- může být do auta montován volitelně

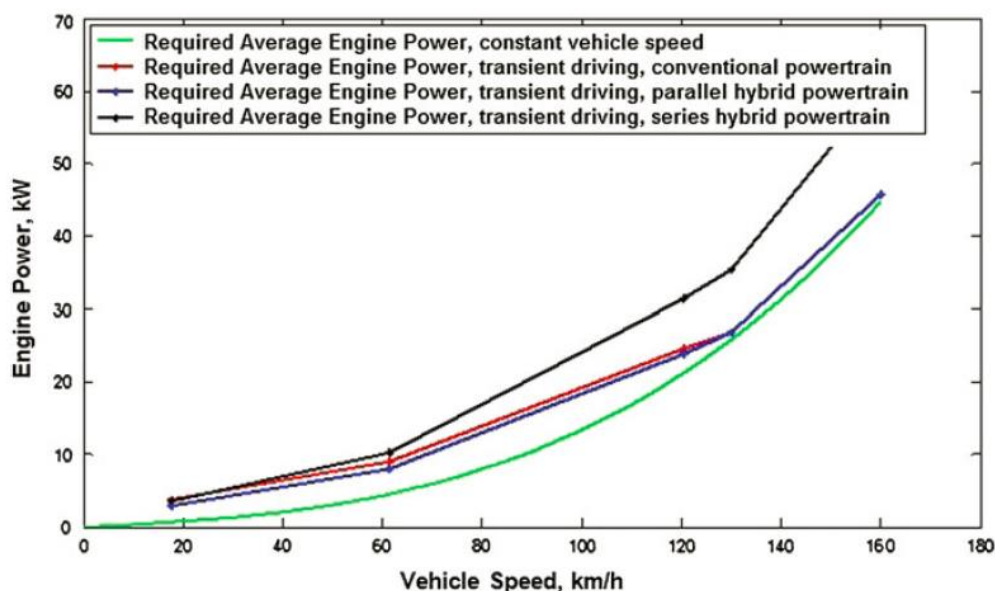
Při zvážení těchto kritérií se jako nejvhodnější varianta jeví čtyřdobý pístový spalovací motor, který splňuje všechny výše zmíněné náležitosti. Navíc je jedná o časem prověřenou variantu. Používají se i Wankelovy motory nebo palivové články (H₂), tato práce je však zaměřena

a bude podrobně rozebírat především spalovací pístové motory jako prodlužovače dojezdu. Okrajově budou zmíněny motory Wankelova typu.

3.3 VÝKONOVÉ POŽADAVKY NA PRODLUŽOVAČ DOJEZDU

Jak už bylo zmíněno, prodlužovač dojezdu není obvykle napojen mechanicky na kola, nýbrž slouží pouze k výrobě energie. Z toho plyne hlavní rozdíl v požadavcích na výkon klasického spalovacího motoru a spalovacího motoru použitého jako prodlužovač. U klasického pohonu je trakční síla tvořena motorem, který přes převodovku a určité převodové poměry pohání kola. To znamená, že motor musí vyvinout potřebný točivý moment, aby se dalo auto do pohybu. Takže musí pracovat v rozsahu částečného zatížení, aby měl rezervu točivého momentu potřebnou v případě akcelerace. Naopak u elektromobilu vytváří trakční sílu elektromotor, obvykle s jedním nebo dvěma převodovými poměry. Tudíž spalovací motor je naprosto nezávislý na otáčkách kol a jeho provozní režim tak může být optimalizován na co nejvyšší účinnost. Stačí totiž, aby konstantně dodával pouze průměrný výkon potřebný k pohybu vozidla. [1]

Ke stanovení rozměrů a výkonu prodlužovače je zapotřebí provést analýzu jízdních cyklů v reálném provozu. Musí se také počítat s tzv. parazitními silami (klimatizace, posilovač řízení, spotřeba elektroniky na palubě) a s externími vlivy, jako jsou kopce, zatáčky nebo nadmořská výška.

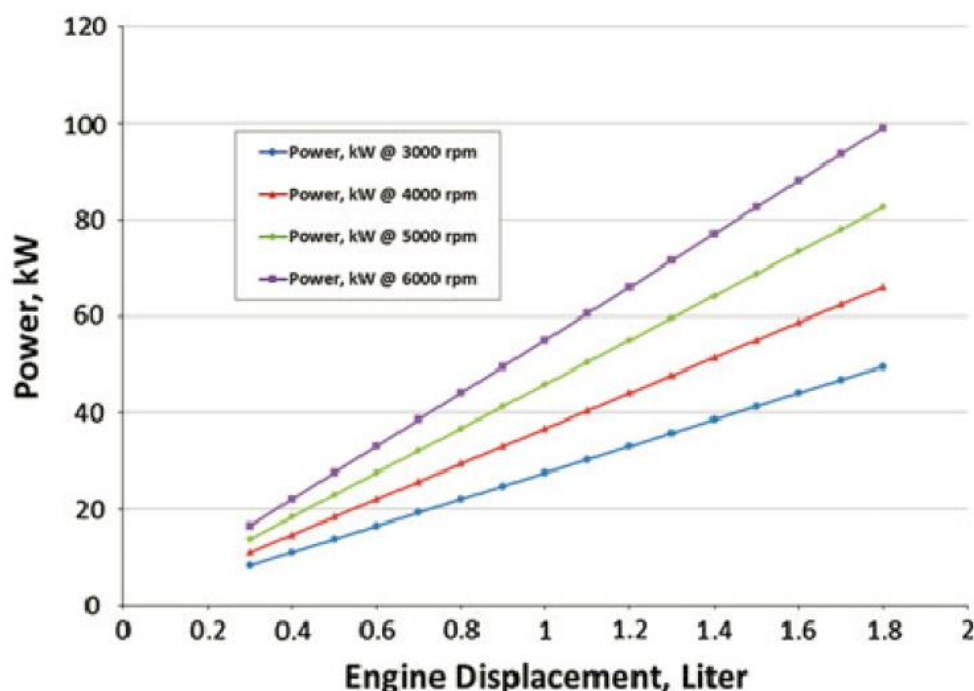


Obr. 10 Závislost potřebného výkonu spalovacího motoru na rychlosti vozidla střední třídy [1]

Na Obr. 10 můžeme vidět graf závislosti potřebného výkonu na rychlosti vozidla. Je patrná dříve zmíněná skutečnost, že paralelní zapojení je především ve vyšších rychlostech efektivnější a potřebuje menší výkon než zapojení sériové. Při dálniční rychlosti $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, je potřebný výkon u sériového hybridu cca 36 kW , kdežto u paralelního pouze okolo 27 kW . Maximální výkon prodlužovače se tak stanoví na základě maximální požadované rychlosti.

3.4 VELIKOST PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

Pracovní (u pístových motoru zdvihový) objem se stanoví na základě grafu na Obr. 11, který znázorňuje závislost výkonu na pracovním objemu za konstantního efektivního tlaku 11 bar. Pokud si stanovíme, že motor bude při $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ točit $4\,000 \text{ min}^{-1}$, vyplývá z toho velikost pracovního objemu okolo 1 litru. Tomu odpovídají řadové dvouválce a tříválce. Tříválec má kultivovanější chod motoru, dvouválec má oproti tomu nepatrně menší spotřebu. [1]

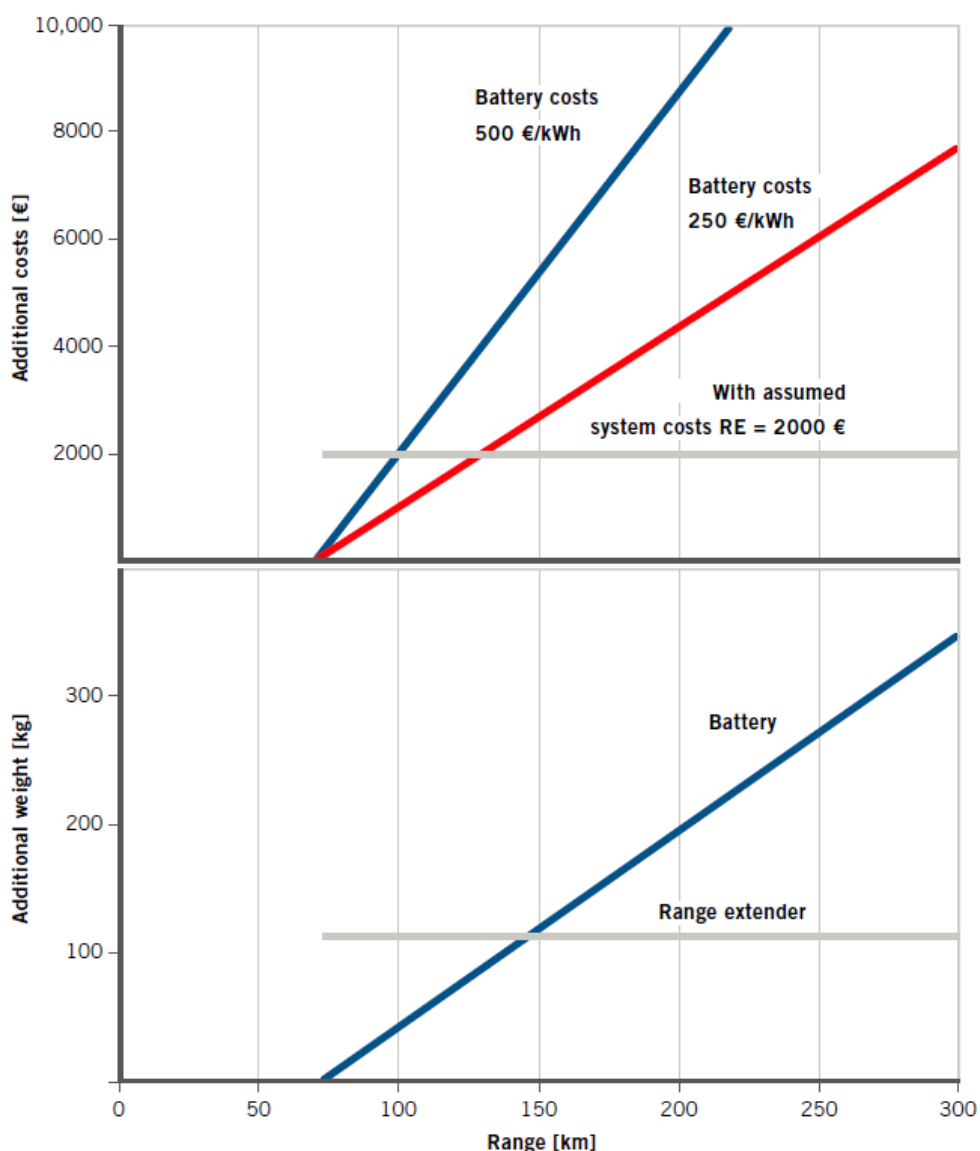


Obr. 11 Závislost výkonu na zdvihovém objemu při středním efektivním tlaku 11 barů [1]

U Wankelových motorů nastává problém při stanovení pracovního objemu, ze kterého se vypočte objemový výkon (vztažený na jeden litr pracovního objemu). U pístových motorů je pracovní objem jednoznačný, nazývá se zdvihový. Vypočte se jako objem válce s průměrem podstavy shodným s vrtáním válce a výškou shodnou se zdvihem. Pro celý motor se ještě násobí počtem válců. U motorů Wankelových však koná pohyb pouze jeden píst v jednom tělese, ale jsou v činnosti tři pracovní komory. Mezi rotorem a excentrickým hřídelem je převodový poměr 1:3, takže za jednu otáčku excentrického hřídele proběhne v každé komoře 1/3 cyklu. Proto nelze stanovit pracovní objem jednoznačně. Z čistě technického i uživatelského hlediska není stanovení pracovního objemu příliš důležité. Avšak z hlediska byrokratického (pojištění, daně, sportovní kategorie) hraje důležitou roli. Proto například FIA pro stanovení kategorií sportovních vozů určila, že za pracovní objem jednorotorového Wankelova motoru bude považován objem dvou jeho komor, tedy objem jedné pracovní komory vynásobený dvěma. Objem jedné komory se vypočítá jako rozdíl největšího a nejmenšího objemu mezi jedním bokem rotoru a skříní v průběhu cyklu. Z hlediska rovnoměrnosti chodu je jednorotorový motor srovnatelný s řadovým čtyřdobým dvouválcem s pravidelnými rozestupy zážehů. Obecně však může být rotorů více. [19]

3.5 EKONOMICKÁ A HMTNOSTNÍ VÝHODA PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

Studii porovnávající cenové a hmotnostní parametry elektromobilu s prodlužovačem dojezdu a bez něj můžeme vidět na Obr. 12. U obou grafů je předpokládán elektrický dojezd elektromobilu s prodlužovačem 70 km, takže porovnání začíná od této hodnoty. Z prvního grafu je patrné, že při požadavcích na dojezd větších než 100 km (při ceně 500 €·kWh⁻¹) je koncepce REEV velmi výhodná, jelikož s rostoucím požadovaným dojezdem cena baterií lineárně stoupá, zatímco cena prodlužovače je konstantní. To stejné lze říci o porovnání hmotnostních parametrů. Zde leží průsečík křivek, od kterého je koncepce REEV výhodnější než EV, na hodnotě požadovaného dojezdu přibližně 150 km.



Obr. 12 Cenové a hmotnostní srovnání automobilů koncepce REEV a EV [25]

3.6 PROVOZNÍ REŽIM PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

Jsou možné dva přístupy volby provozního režimu. Buď může být motor nastaven jednoduše tak, že pracuje v režimu nejnižší měrné spotřeby, nebo stanovení otáček motoru může probíhat průběžně podle výkonových potřeb, tj. závislost otáček na rychlosti vozidla. [1]

3.6.1 REŽIM NEJNIŽŠÍ MĚRNÉ SPOTŘEBY PALIVA

Provoz v tomto režimu znamená, že při průměrných požadavcích na výkon bude motor běžet v provozním režimu s nejvyšší efektivitou. Při nízkých požadavcích a dostatku energie v bateriích může být dokonce úplně vypnut. Při nízkém zatížení tak bude velké množství energie ukládáno v bateriích. Z toho plynou velké ztráty, viz odstavec Porovnání účinnosti sériového a paralelního uspořádání.

S tímto přístupem je také spojen jeden uživatelský diskomfort. Motor běžící při konstantních otáčkách při rozdílném sešlápnutí plynového pedálu a zrychlování není něco, na co by byl řidič normálního vozu zvyklý a může to považovat za nepříjemnou věc. Navíc hluk motoru není při nízké rychlosti možné maskovat hlukem od kol a aerodynamickým hlukem, které se zvyšují spolu s rychlostí.

Dalším aspektem, který je potřeba zmínit, je chlazení motoru. Při tomto režimu může být zatížení a tím pádem i otáčky motoru dost vysoké i při malých rychlostech, kdy neproudí kolem motoru dostatek vzduch, aby ho stíhal ochlazovat. Z toho vyplývá nutnost použití větráku, jehož pohon snižuje účinnost soustavy. [1]

3.6.2 REŽIM STANOVENÍ OTÁČEK PODLE OKAMŽITÉHO ZATÍŽENÍ

Při tomto provozním režimu jsou otáčky motoru regulovány podle rychlosti vozidla. Vytvoří se jakýsi virtuální převod mezi motorem a koly. Tím pádem vzniká závislost rychlosti vozu na otáčkách. Takže odpadají velké ztráty při uchovávání energie v bateriích a k chlazení stačí proud vzduchu, jelikož do vyšších otáček se motor dostane jen při vyšších rychlostech. Maximální výkon je závislý na akceptovatelné hladině hluku. Musí být akceptovatelné také ztráty způsobené třením, které rostou spolu s otáčkami. [1]

3.7 AKUSTIKA PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

Elektromobily mají rozdílnou zvukovou stopu ve srovnání s klasickými vozy. Frekvence vznikající vnějšími vlivy, jako je hluk od kol nebo aerodynamický hluk, jsou u obou koncepcí srovnatelné. Hlasitost zvuků generovaných pohonnou soustavou je však u elektrického pohonu zanedbatelná. A člověk kupující si vůz s touto technologií předpokládá minimální hlučnost provozu. To platí i pro přídatný spalovací motor. Při vývoji prodlužovače je proto zapotřebí se soustředit i na tuto stránku věci. Zvuk vznikající v motoru se může šířit buď materiálem a člověk ho vnímá hlavně jako vibrace, nebo vzniká také zvuk šířící se vzduchem, který člověk vnímá sluchovou soustavou jako hluk.

3.7.1 VIBRACE

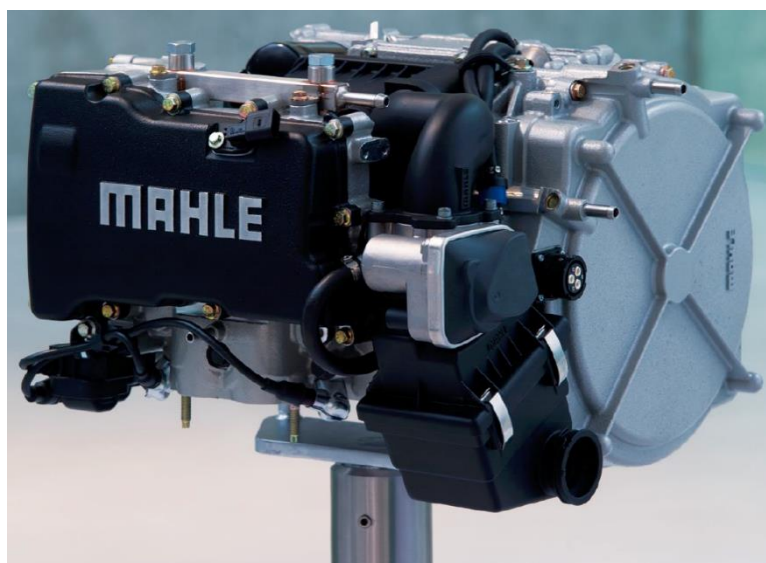
Vibrace dominují v pásmu frekvence do 1 kHz. Řidič vozidla je vnímá skrze volant a sedadlo. Na vnější hluk, z pohledu chodce na chodníku, nemá toto pásmo téměř žádný vliv. Vibrace vznikají buď v důsledku sil plynů, nebo kvůli setrvačným silám. První možnost figuruje hlavně v pásmu do 3 000 min⁻¹, poté převládá účinek setrvačných sil, jelikož jejich velikost roste s kvadrátem rychlosti otáček motoru. Nejpříznivější hodnoty vibrací můžeme zaznamenat u motorů s rotujícími písty, například u Wankelova. Uspokojující charakteristiky nabízí pístové motory se čtyřmi válci. Se snižujícím se počtem válců však hladina vibrací stoupá. [18]

3.7.2 HLUK MOTORU

Asi každý zná hluk, který při svém provozu vydává motor. Jedná se především o zvuk sání a výfuku. Zvuk samotného vznícení směsi paliva není tak dominantní, jak by se mohlo zdát. Při redukci hluku je potřeba se soustředit hlavně na výfukovou část, která je v průměru o 20 dB hlasitější, než sání. Zvuk linoucí se z výfuku se dá ovlivnit změnou průřezu nebo délky potrubí. Sportovní divize automobilek pracují na stejné věci, avšak s opačným cílem než výrobci prodlužovačů dojezdu. Sportovní auta by měla vydávat zvuk výrazný, kdežto elektromobily si musejí uchovat svojí tichost i se spalovacím motorem. [18]

4 MAHLE POWERTRAIN

Společnost Mahle Powertrain Ltd., sídlící v Northamptonu ve Velké Británii, je jednou z divizí německého giganta Mahle Group, známého výrobce součástí pro automobilový průmysl. Tato divize vznikla koupí společnosti Cosworth Technology Group, patřící do té doby pod Audi. Tato divize se do vývoje prodlužovače dojezdu pustila v roce 2009. Stanovila si za cíl, že jeho produkt musí být možné zakomponovat do různých automobilních aplikací, především kompaktních automobilů, u kterých je použití této koncepce nejpravděpodobnější. Klíčovým parametrem byla také cena, s ohledem na možnost masové produkce.



*Obr. 13 Prodlužovač dojezdu od firmy Mahle Powertrain Ltd.
[21]*

4.1 VÝVOJ

Inženýři v Mahle se rozhodli pro vývoj jejich prodlužovače použít sériové auto se spalovacím motorem, jakési demonstrativní vozidlo, a přestavět ho nejprve na elektromobil, k němuž byl posléze instalován prodlužovač dojezdu. Pro názornost bylo použito auto kompaktní třídy (Audi A1), jelikož použití konceptu s prodlužovačem je nejpravděpodobnější v tomto nebo nižším segmentu. Důvodem je, že sériové zapojení není tak efektivní při vyšších rychlostech. Navíc je konstrukčně jednodušší a tím i levnější, než zapojení paralelní.

4.1.1 DEMONSTRATIVNÍ VOZIDLO

Díky kompaktnosti elektromotoru ve srovnání s původním řadovým čtyřválcem mohl být prodlužovač nainstalován vedle něj v motorovém prostoru. Baterie se nachází pod podlahou zavazadlového prostoru. Původní nádrž s objemem 45 l byla nahrazena nádrží o objemu 25 l.
[20]

Vůz má řídicí jednotku pro prodlužovač s generátorem oddělenou od hlavní řídicí jednotky vozidla, čímž se zjednodušuje instalace systému do jakéhokoliv konvenčního vozu.

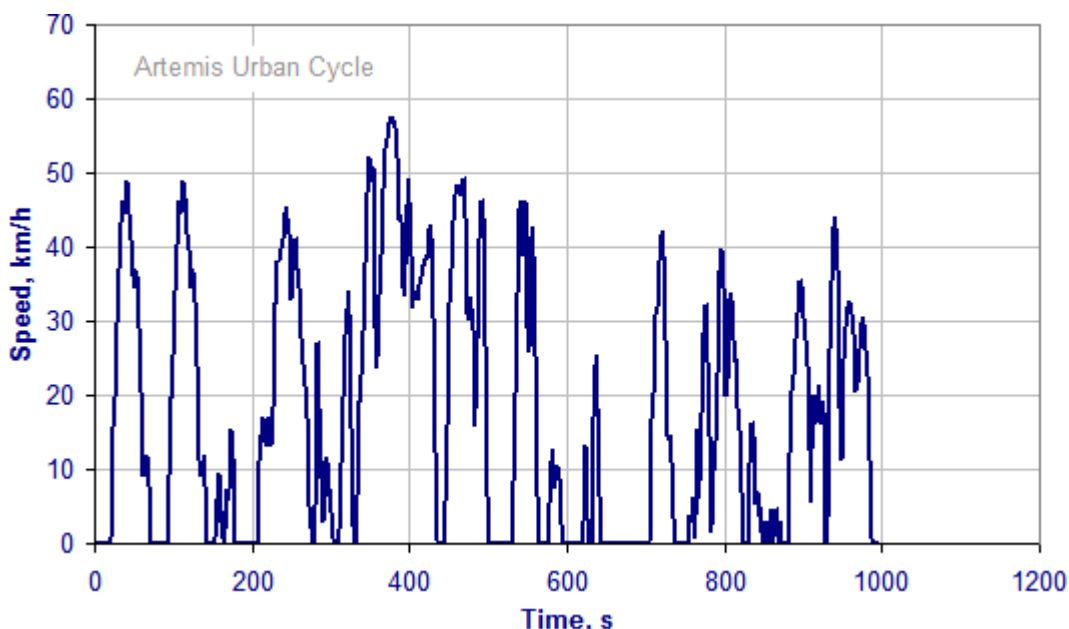
4.1.2 STANOVENÍ PARAMETRŮ ELEKTROMOTORU A BATERIE

Byly dány dynamické parametry pro elektromotor: dlouhodobě udržitelná maximální rychlost $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ s možností krátkodobého nárůstu až na $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Dále muselo být vozidlo schopno překonat 20 % stoupání a mít srovnatelnou dynamickou charakteristiku se sériovým spalovacím vozem (s výjimkou maximální rychlosti). Vozidlo muselo být také schopno v čistě elektrickém režimu ujet minimálně 80 km, což je hodnota pokrývající 70 % typického použití. Přidaná hmotnost (elektromotor, baterie, generátor, prodlužovač dojezdu) nesměla přesáhnout 400 kg. Z těchto kritérií byl vyvozen výkon elektromotoru: trvalý výkon 55 kW s možností krátkodobého nárůstu (peak) až na 100 kW. Odpovídající baterie má 15 kWh. [21]

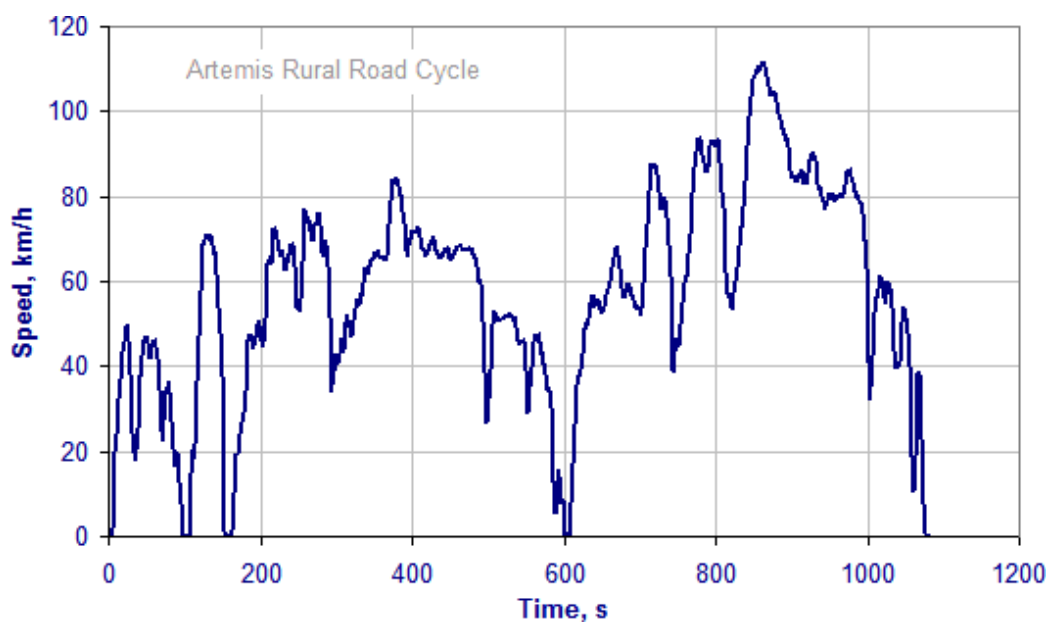
4.1.3 STANOVENÍ PARAMETRŮ A PROVOZNIHO REŽIMU PRODLUŽOVAČE

Parametry a provozní režim prodlužovače dojezdu a komponent pohonné soustavy byly stanoveny po rozsáhlých analýzách jízdního stylu a potřeb řidičů vozů tohoto segmentu. Jako základ pro stanovení provozního režimu a podmínek reálného provozu byl použit cyklus zvaný CADC (Common Artemis Driving Cycle).

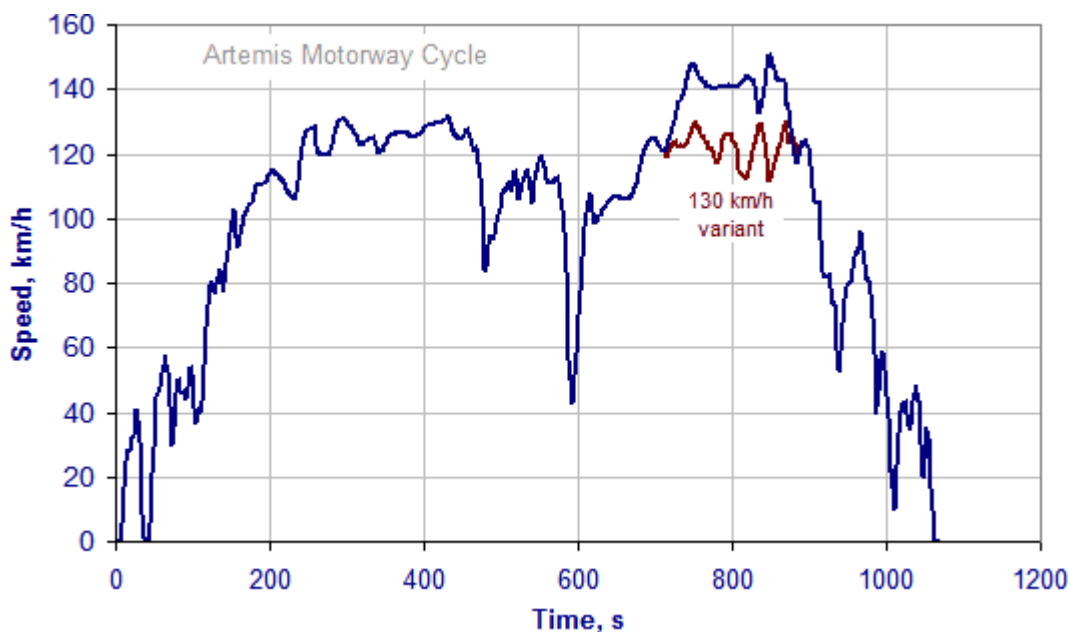
Tento cyklus obsahuje reálné vzorce chování řidičů v Evropě. Skládá se ze tří částí. První je režim městského provozu (Artemis Urban Cycle). Z grafu, který znázorňuje rychlost v závislosti na čase, je patrné, že maximální rychlost není vysoká, ale jsou nutné časté rozjezdy z nulové rychlosti. Následuje režim jízdy po venkově (Artemis Rural Road Cycle) a posledním je dálniční styl jízdy (Artemis Motorway Cycle), obsahující vysoké a přibližně konstantní rychlosti. [22]



Obr. 14 Artemis Urban Cycle [22]



Obr. 15 Artemis Rural Road Cycle [22]



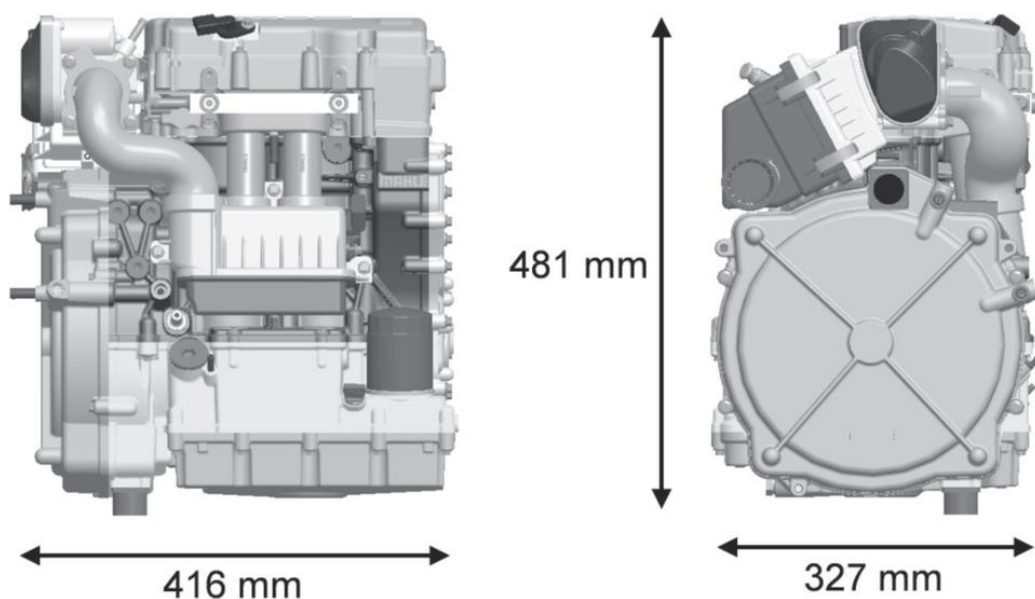
Obr. 16 Artemis Motorway Cycle [22]

4.2 PARAMETRY PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

S ohledem na tyto analýzy a požadavky byl vypočítán požadovaný výkon spalovacího prodlužovače na 30 kW. Bylo vyvinuto široké spektrum spalovacích motorů a jako nejvhodnější byl vybrán zážehový čtyřdobý řadový dvouválec se zabudovaným generátorem.

Tab. 2 Parametry prodlužovače dojezdu [21]

Motor	zážehový čtyřdobý řadový dvouválec
Zdvihový objem	898 cm ³
Výkon	30 kW při 4 000 min ⁻¹
Točivý moment	72 N·m při 2 000–4 000 min ⁻¹
Vrtání x zdvih	83 x 83 mm
Kompresní poměr	9,8:1
Rozvody, ventily	Dvouventilová SOHC hlava válců se zdvihátky a vahadly
Vstřík paliva	MPI (vícebodový vstřík paliv)
Řídící jednotka	Mahle flexible ECU
Generátor	38 kW synchronní generátor s permanentními magnety, vodou chlazený, nominální napětí 320 V
Snížení emisí	Třícestný katalyzátor
Norma	Euro 5/6 v závislosti na vozidle
Pracovní pozice	0 ° a 90 ° vertikálně
Suchá hmotnost (s generátorem)	70 kg
Minimální spotřeba	240 g·kWh ⁻¹



Obr. 17 Rozměry prodlužovače dojezdu [44]

Pro pohon rozvodů je použita jedna vačková hřídel v hlavě válců, ovládající ventily nepřímo přes zdvihátka a vahadla (SOHC). Každý válec má jeden sací a jeden výfukový ventil. Specialitou tohoto motoru je olejový systém, který umožňuje horizontální i vertikální instalaci. Je také optimalizován na dlouhé periody čistě elektrického pohonu, kdy motor neběží. [21]

4.3 GENERÁTOR

Motor obsahuje generátor plně integrovaný do klikové skříně. Rotor je pevně spojen s klikovou hřídelí. Generátor se také stará o startování motoru, z čehož plyne další úspora prostoru, jelikož není potřeba startér. Navíc je možné dosáhnout plné rychlosti otáček motoru ještě před samotným začátkem spalování, čímž se zlepší zvukový komfort a doba startování klesne na hodnoty okolo 0,2 s. Klesne také produkce emisí při startu. [20]

Generátor má dynamicky proměnné zatížení, jelikož motor má nesymetrický interval časování zapalování (viz. odstavec Nesymetrické zapalování).

4.4 BLOK MOTORU, PÍSTY, VÁLCE

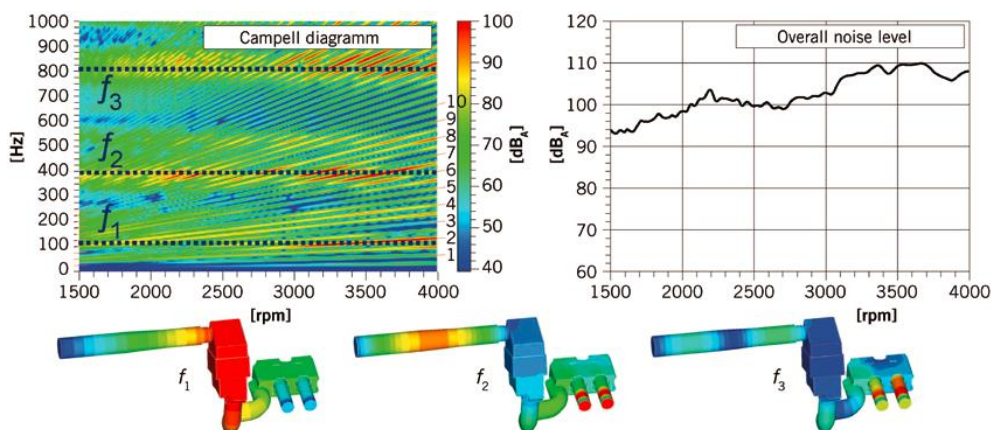
Blok motoru je odlit ze slitiny hliníku a ve válcích jsou litinové vložky s povlakem Grafal, což je technologie firmy Mahle, která byla vyvinuta pro použití v motorsportu. Jedná se o impregnaci grafitem, která má výbornou přilnavost a trvanlivost. Podstatně snižuje tření mezi pístem a stěnou válce, což vede k menšímu opotřebení a menšímu únavovému zatížení pístu. [23]

Na pístu jsou 3 pístní kroužky, dva těsnící a jeden stírací. Těsnící pístní kroužky zajišťují utěsnění prostoru spalín od klikové skříně a podstatně se podílejí na odvodu tepla z pístu do bloku motoru. Stírací kroužek reguluje tloušťku olejové vrstvy a zabraňuje průniku oleje nad píst a jeho následnému spálení se směsí paliva, což má negativní vliv na množství škodlivin ve výfukových plynech.

4.5 SÁNÍ A VÝFUK

Jak již bylo zmíněno v požadavcích kladených na prodlužovače dojezdu, velmi důležitým faktorem z hlediska komfortu uživatele elektromobilu je jeho hlučnost. A u spalovacího motoru má sání a výfuk na tento faktor významný vliv. Musí však zůstat zachován výkon i malé rozměry. Proto byla věnována vývoji a optimalizaci u tohoto motoru velká pozornost.

Nejprve byla použita 1-D simulace proudění plynů, ze které byly získány hodnoty geometrie sání a výfuku. Bylo také vypočítáno časování otevření a zavření obou ventilů. 1-D model posloužil také jako podklad pro 3-D akustickou analýzu metodou konečných prvků. Z hlediska použití prodlužovače při nízkých otáčkách vzniká problém především v pásmu nízkých frekvencí. Nízké frekvence souvisejí s délkou sacího potrubí a objemem vzduchového filtru a tlumení. Velké objemy jsou však u kompaktních rozměrů prodlužovačů nedosažitelné. Na Obr. 18 vidíme analýzu kompaktního provedení sacího potrubí. Touto metodou byly zjištěny vlastní frekvence f_1 , f_2 a f_3 . První vlastní frekvence f_1 je na relativně vysoké frekvenci 107 Hz. Řešením je zvýšení objemu krytu vzduchového filtru nebo Helmholtzův rezonátor. Tlumena musí být i třetí vlastní frekvence f_3 , která má velmi široké pásmo buzení. [21]



Obr. 18 Akustická analýza sání metodou konečných prvků [21]

4.6 PROVOZNÍ REŽIM

Po rozsáhlých analýzách byl stanoven jako nejvhodnější jednoduchý provozní režim, kdy se motor zapíná při hodnotě stavu nabití baterie 25 % a vypíná se, když tato hodnota dosáhne 35 %. Pokud je nabití baterie dostatečné, je snaha nezapínat motor při požadavcích na výkon nižších než 5 kW a rychlostech menších než $45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Motor vždy pracuje zcela zatížen a regulace výkonu probíhá změnou otáček, které se pohybují v rozmezí 2 000–4 000 min^{-1} . Při 2000 min^{-1} má motor maximální objemovou účinnost $\eta_{\text{vol}} = 93 \%$ [21]. Takto přísná kritéria zapínání motoru vyplývají ze snahy maximalizovat čistě elektrický dojezd, a tím snížit emise v měřeném testu NEDC. Tento test se používal v době vývoje prodlužovače k normovanému měření emisí automobilů. Nyní je však nahrazován novou metodikou měření zvanou WLTC.

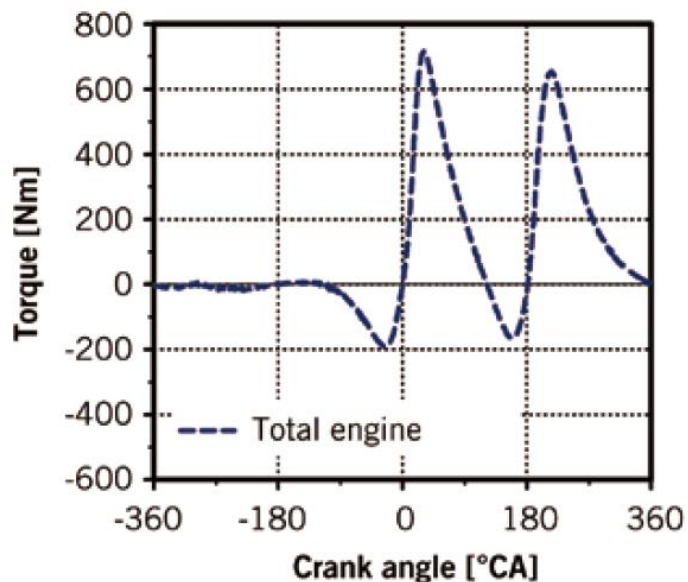
Díky takto nastavenému režimu je schopno demonstrační vozidlo dosáhnout elektrického dojezdu okolo 70 km a se zapojením prodlužovače s plnou nádrží dalších 400 km. Emise CO_2 přitom vykazují hodnotu kolem $45 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$, což je méně než třetina už tak solidního výsledku konvenčního auta, ze kterého byl elektromobil přestavěn [20]. U původního vozu byl použit přeplňovaný řadový čtyřválec 1,2 TFSI, který produkuje $118 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$. [24]

NESYMETRICKÉ ZAPALOVÁNÍ

Motor má specificky časované zapalování válců. U prvního válce proběhne expanze na 0° otočení klikové hřídele a druhý je zapálen už na 180° , místo klasických 360° . To znamená, že během jedné otáčky klikové hřídele proběhnou dvě expanze, zato během druhé neproběhne žádná. Díky tomu je sice zajištěno dobré vyvážení, které umožňuje vynechání vyvažovacích hřídelí (výhoda rozměrová i ekonomická), avšak toto uspořádání zvětšuje nerovnoměrnost chodu klikového mechanismu. [20]

Jak je patrné z Obr. 19, během prvního cyklu (360°) nastanou dvě expanze a v této oblasti je vykonána veškerá kladná práce klikové hřídele. Točivý moment dosahuje hodnot přes 600 N·m. S tím souvisí nárůst otáček při konstantním zatížení. Zatímco v druhém cyklu

nenastává žádná expanze, navíc je potřeba vykonat práci nutnou ke kompresi. Tím se sníží točivý moment až na $-200 \text{ N}\cdot\text{m}$ a s ním při konstantním zatížení klesnou i otáčky.

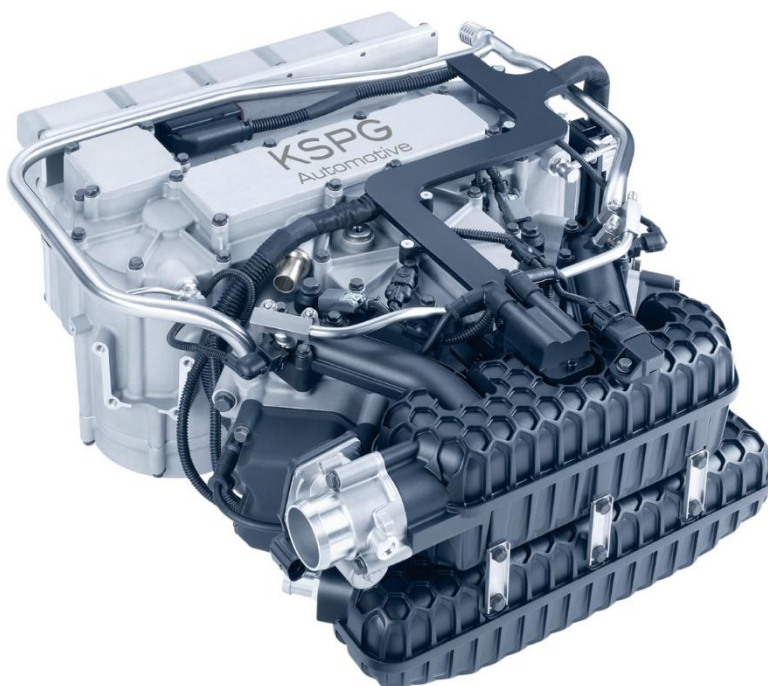


Obr. 19 Točivý moment v závislosti na otočení klikové hřídele pro 2000 min^{-1} a 80% zatížení [20]

Kolísáním otáček v průběhu cyklu se však zhoršuje NHV komfort. Aby se tomu předešlo, byl generátor opatřen dynamickou regulací zatížení, která tyto změny reguluje změnou točivého momentu generátoru.

5 RHEINMETALL AUTOMOTIVE

Studie prodlužovače dojezdu firmy Rheinmetall Automotive, sídlící v německém městě Neckarsulm, byla představena na Mezinárodním automobilovém veletrhu v roce 2011. Jedná se o dceřinou společnost skupiny Rheinmetall, věnující se automobilovému průmyslu. V době představení agregátu však ještě platil starý název KSPG Automotive. Na vývoji motoru se podílela také další německá firma, FEV Motortechnik, mající sídlo v Cáchách.



Obr. 20 Prodlužovač dojezdu od firmy Rheinmetall Automotive [25]

5.1 VÝVOJ

Stejně jako konkurenční firma Mahle, i Rheinmetall se rozhodl zakomponovat svůj prodlužovač dojezdu do již existujícího automobilu. Jednalo se také o kompaktní vůz určený do města. Jak již bylo vysvětleno, v této kategorii je použití extenderu nejočekávanější a nejpravděpodobnější.

Inženýři provedli také porovnání možností sériového a paralelního zapojení. Došli také k dříve naznačeným závěrům, že paralelní zapojení je sice efektivnější, ale výraznější rozdíl nastává až ve vyšších rychlostech, které nejsou u tohoto segmentu vozu časté. Možnost nastavení otáček a zatížení na co nejvyšší efektivitu, což je možné u sériového uspořádání, převážilo preference na stranu tohoto zapojení. [25]

5.1.1 DEMONSTRATIVNÍ VOZIDLO

Jelikož hlavním cílem byla modularita konceptu, bylo nutné zastavět motor do existujícího vozu tak, aby nedošlo k žádným ústupkům týkajících se vnitřní prostornosti, jelikož v tomto segmentu je prostornost často nedostatečná i bez prodlužovače. Jako demonstrativní vůz byl zvolen Fiat 500, typické stylové auto do města.

Jak již bylo řečeno, elektromotor a spalovací motor byly zapojeny do série. Pod kapotou vedle elektromotoru už však na prodlužovač nezbylo dost místa. Tak bylo rozhodnuto, že se přesune do zadní části vozu. Byl instalován pod dno zavazadlového prostoru a díky svojí konstrukci a poloze, ve které byl zastavěn, neubral nic z objemu zavazadlového prostoru. Navíc díky této konstrukci došlo k lepšímu rozložení hmotnosti a tím se zlepšily i jízdní vlastnosti vozu. Bylo také plánováno, že prodlužovač bude moci být nabízen jako volitelné příslušenství. Proto je jeho montáž a demontáž nenáročná.

5.1.2 STANOVENÍ PARAMETRŮ POHONNÉ SOUSTAVY

Pohonná soustava byla koncipována tak, aby vůz nepůsobil jako zpomalující překážka pro spalovací automobily ani při vybitých bateriích (tzn. v situaci, kdy je plně závislý na energii produkované prodlužovačem dojezdu). Byla stanovena minimální rychlost $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na stoupání 3 % a rychlost $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ na 5,3 %, což je limitní stoupání na německé dálnici. Pro segment malých vozů byl z těchto kritérií vypočítán minimální požadovaný výkon na kolech 25,8 kW. Když se vzaly v potaz účinnosti jednotlivých článků mezi koly a prodlužovačem, vyšla hodnota výkonu spalovacího motoru na 30 kW. [25]

5.2 PARAMETRY PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

Jedná se o pístový čtyřdobý dvouválec. Základním charakterem motoru je uspořádání válců do V a to pod úhlem 90° . Podrobné parametry jsou obsaženy v Tab. 3.

Tab. 3 Parametry prodlužovače [25]

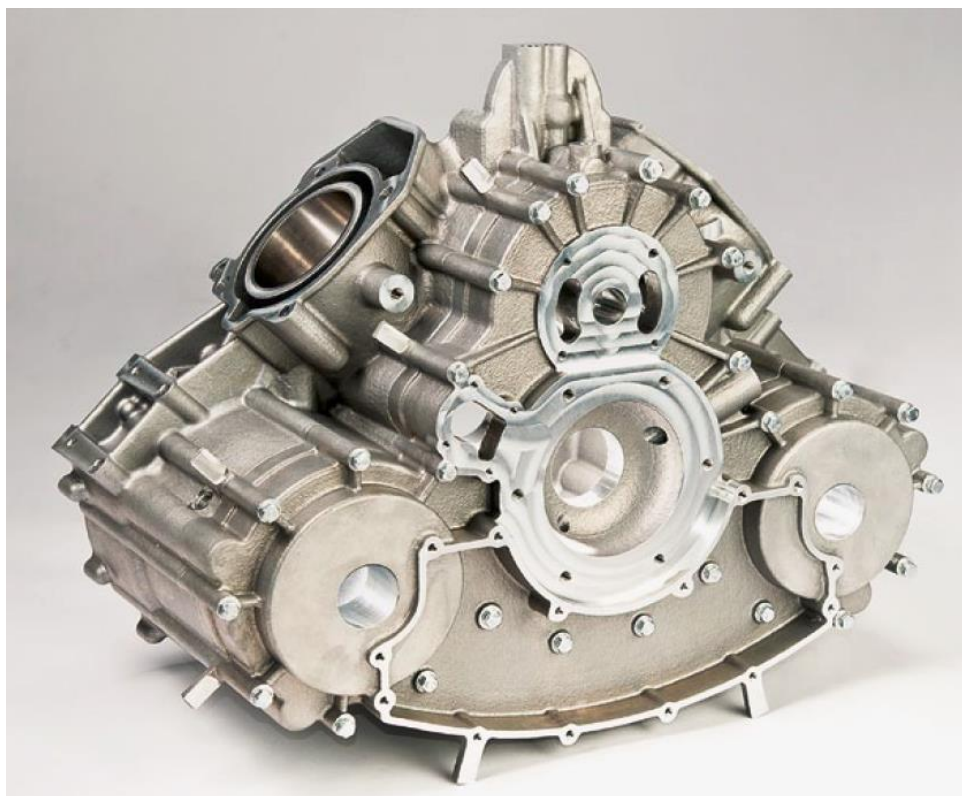
Motor	Zážehový čtyřdobý dvouválec do V
Zdvihový objem	799 cm ³
Vrtání x zdvih	80 mm x 79,5 mm
Maximální výkon	30 kW při 4 500 min ⁻¹
Střední efektivní tlak	10,3 bar při 4 500 min ⁻¹
Maximální točivý moment	66 N·m při 4 500 min ⁻¹
Rozvody	OHV
Ventily	2 na válec
Vstříkování	Nepřímé
Norma	EURO 6

Důvodem takového uspořádání je malá požadovaná výška motoru, jelikož je prodlužovač umístěn pod zavazadlovým prostorem. Válce se tedy pohybují v horizontální rovině. Z toho

vyplývá, že kliková hřídel má vertikální orientaci. Vyvážení je prováděno protizávažími na klikové hřídeli.

5.3 BLOK MOTORU

Jelikož byl prodlužovač vyvíjen jako modulární součást, blok motoru je součástí velké hliníkové skříně, obsahující i generátor a měnič. Tím nastává problém v oblasti teploty, jelikož teplota spalovacího motoru je daleko vyšší, než je optimální teplota provozu generátoru. Spalovací jednotka také potřebuje k provozu olejovou mlhu a produkuje spaliny o vysoké teplotě. Ani jedna z těchto složek se však nesmí dostat do generátoru, obě části proto musí být od sebe izolované. Mají však společný chladicí okruh. Rozměry celého modulu jsou 665 x 550 x 355 mm (délka x šířka x výška). Hmotnost je 62 kg. [25]



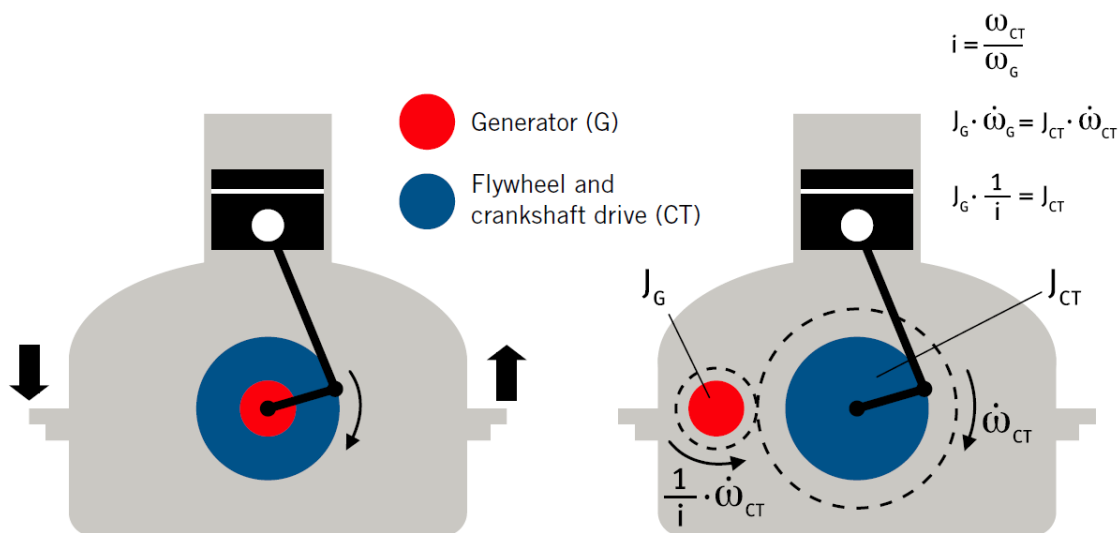
Obr. 21 Hliníková skříň modulu [25]

5.4 GENERÁTOR

Jak již bylo řečeno, generátory jsou dva a jsou součástí celého modulárního bloku. Jedná se o synchronní generátory s permanentními magnety, jejich zapojení je sériové. Statory generátorů jsou vlisovány do skříně a jsou oplachovány chladicí kapalinou. Chladicí okruh je poháněn elektrickým čerpadlem, které reguluje průtok kapaliny podle požadavků. [25]

Specialitou generátoru je však systém FEVcom, vyvinutý a patentovaný firmou FEV. Tento systém je založen na kompenzaci momentů. U standardního spalovacího motoru je průběh

točivého momentu proměnný, závislý na intervalu expanzí jednotlivých válců. Tím dochází k neustálému zrychlování a zpomalování rotující setrvačné hmoty. V důsledku toho vzniká moment, který má snahu otáčet s motorem kolem osy klikové hřídele. Tento moment se přenáší do uložení motoru a vede k nepříznivým hodnotám NVH charakteristiky. Firma FEV však vyvinula systém, který je zobrazen na Obr. 22. Tento systém je schopen redukovat vibrace o více než 95 %. [26]



Obr. 22 Systém FEVcom [25]

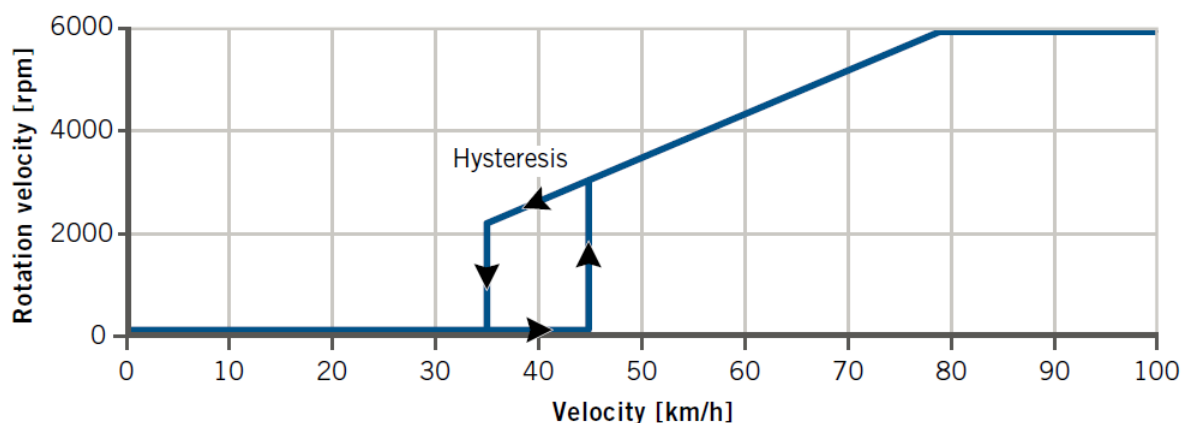
V levé části obrázku je zobrazen standardní generátor, kdy je rotor spojený přímo s klikovou hřídelí (např. prodlužovač Mahle). Je zde patrný moment působící v uložení. Vpravo je řešení firmy FEV, které tento moment eliminuje. Dva rotory generátoru (2 x 15 kW) jsou spojeny s klikovou hřídelí přes pevný převod. Ten způsobuje změnu smyslu rotace. Takže setrvačný moment rotorů je opačný než setrvačný moment klikové hřídele. V kombinaci s převodovým poměrem, který zvyšuje otáčky generátoru oproti klikové hřídeli (1:2), dojde k vyrovnání momentů. Takže moment je kompenzován přímo uvnitř skříně a nepřenáší se do uložení. [25]

5.5 PROVOZNÍ REŽIM

Na stanovení provozního režimu pracovala svými studii především firma FEV. Jednoduchý režim, kdy se motor zapne, pokud úroveň nabití baterie klesne na určitou hodnotu, bez ohledu na rychlost a okamžité výkonové požadavky, byl, vzhledem ke zvukovému komfortu při stání a nízkých rychlostech, shledán nevyhovujícím. Proto byla zvolena následující strategie [18]:

- při rychlosti pod $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ se motor zapíná, jen pokud je to nezbytně nutné (kriticky nízký stav nabití baterie, vytápění interiéru)
- v rozmezí rychlostí $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ se nachází hysterezní smyčka, která zabraňuje častému vypínání a zapínání (viz Obr. 23)

- v rozmezí $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ až $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ dochází k lineární závislosti otáček motoru na rychlosti vozidla, kdy k maximálním otáčkám dochází při $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a k minimálním při $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
- poloha plynového pedálu ovlivňuje zatížení a točivý moment



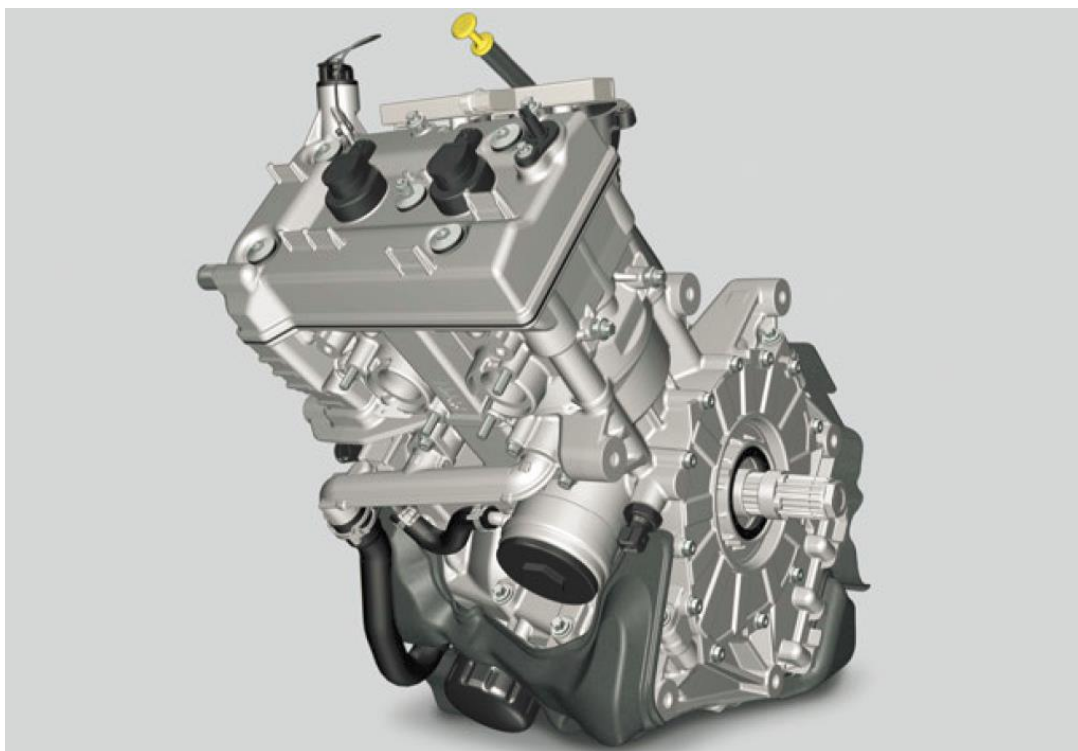
Obr. 23 Provozní režim s hysterezní smyčkou [25]

Díky takto zvolené strategii dochází k maskování hluku motoru zvukem od kol a aerodynamickým hlukem. Spolu se spárováním plynového pedálu a zatížení motoru to výrazně zlepšuje NVH komfort.

Tato strategie také umožňuje energii vyrobenou prodlužovačem použít okamžitě na pohon elektromotoru. Tím se předejde ztrátám při uložení v baterii, související s její účinností. Z toho plyne lepší efektivita pohonné soustavy. Závislost zatížení na poloze plynového pedálu také zabraňuje krátkodobým prudkým nárůstům proudu na začátku decelerace, kdy se na krátký okamžik sečtou výkony prodlužovače a rekuperujícího elektromotoru. [18]

6 BMW W20

Tento motor je volitelnou součástí elektromobilu BMW i3 od mnichovské automobilky BMW. Takto vybavený model má přívlástek REx. Motor vychází ze spalovací jednotky, kterou firma používá například u skútru BMW C 650GT. Tento motor je dodáván třetí stranou. Dodavatelem je firma Kymco, taiwanský výrobce skútrů a čtyřkolek. Je to jeden z prvních prodlužovačů dojezdu v sériové výrobě.



Obr. 24 Prodlužovač dojezdu BMW W20 [27]

6.1 VÝVOJ

Jak již bylo řečeno, motor vychází z jednotky používané ve skútrech, avšak provozní režim při pohonu motocyklu je velmi rozdílný od provozního režimu prodlužovače dojezdu. V elektromobilu nemůže spalovací motor dosahovat tak vysokých otáček, jelikož by nastal problém v oblasti NVH komfortu. Proto jsou hodnoty některých parametrů prodlužovače nižší, například pokles hodnoty výkonu ($25 \text{ kW @ } 4\,300 \text{ min}^{-1}$ vs. $44 \text{ kW @ } 7\,500 \text{ min}^{-1}$) a točivého momentu ($55 \text{ N}\cdot\text{m @ } 4\,300 \text{ min}^{-1}$ vs. $66 \text{ N}\cdot\text{m @ } 6\,000 \text{ min}^{-1}$). Konstrukce motoru zůstala zachována. Byl však snížen kompresní poměr (10,6 vs. 11,6). [28], [27]

6.2 PARAMETRY PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

Jedná se zážehový čtyřdobý řadový dvouválec s vodním chlazením a blokem motoru z hliníku. Podrobné parametry jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 Parametry prodlužovače BMW W20 [27], [29]

Motor	Zážehový čtyřdobý řadový dvouválec
Zdvihový objem	647 cm ³
Výkon	25 kW při 4 300 min ⁻¹
Točivý moment	55 N·m při 4 300 min ⁻¹
Vrtání x zdvih	79 x 66 mm
Kompresní poměr	10,6
Ventily na válec	4
Emisní norma	Euro 6
Emise	13 gCO ₂ ·km ⁻¹ *

*závislé na použitém vozidle

6.3 KONSTRUKČNÍ PRVKY MOTORU

6.3.1 BLOK MOTORU

Kliková skříň je rozdělena na dvě části. Obě jsou odlité tlakovým litím z hliníku. Pod klikovou skříň je přišroubovaná olejová vana. Hlava válců je utěsněna vícevrstevným těsněním z pružinové oceli. Je odlita gravitačním litím a poté zchlazena vodou. V hlavě jsou čtyři ventily na válec. Celá hlava je ještě utěsněna krytem hlavy válců, která je přišroubována čtyřmi šrouby. Je použito gumové těsnění. Kliková skříň je odvětrávána. Plyny uniklé při expanzi jsou zbaveny olejových částic a jsou odvedeny zpět do sání motoru. [27]

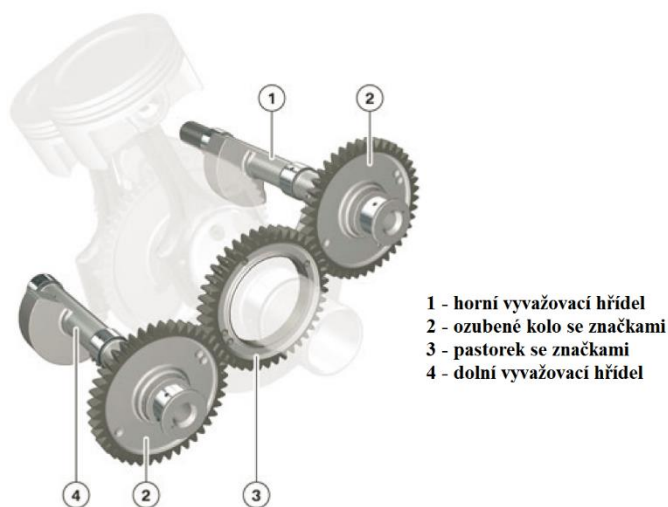
6.3.2 OJNICE A PÍSTY

Ojnice jsou dlouhé 113 mm a jsou kované z oceli. Jmenovitý průměr ojnicního ložiska je 42 mm. Je použito bezolovnaté vícevrstvé kluzné ložisko. Oko pro pístní čep je osazeno mosazným pouzdem pro pístní čep o průměru 18 mm. Lehké kovové písty jsou odlity a mají hmotnost pouze 200 g. [27]

6.3.3 KLIKOVÁ A VYVAŽOVACÍ HŘÍDEL

Ojniční čepy jsou na klikové hřídeli rozmístěny v úhlu 90°. Zapalování je tedy nesymetrické. Kliková hřídel je kovaná z vysokopevnostní oceli a je umístěna ve třech ložiscích. Na hlavním prostředním ložisku jsou axiální kluzné podložky. Rotor generátoru je spojen s klikovou hřídelí. [27]

Motor obsahuje dvě vyvažovací hřídele, které jsou poháněny klikovou hřídelí přes ozubený převod. Obsahují protizávaží, která jsou umístěna také s roztečí 90°. Díky ozubenému převodu mají vyvažovací hřídele opačnou úhlovou rychlost než hřídel kliková. Tím dochází ke kompenzaci setrvačných sil a momentů a díky tomu se výrazně zlepší NVH komfort.



Obr. 25 Systém vyvažovacích hřídelí [27]

6.3.4 ROZVODY A VENTILY

Je použit rozvod typu DOHC. Vačkové hřídele jsou poháněny ozubeným řetězem přímo přes ozubené kolo na klikové hřídeli. Řetěz je veden pomocí vodící dráhy a napínací dráhy a je napínán pružinovým bezúdržbovým napínákem. Píst napínáku tlačí pomocí torzní pružiny na napínací dráhu a tím je řetěz udržován v napnutém stavu. [27]

Ventily jsou vyrobeny ze slinutého kovu a jsou ovládány přímo přes zdvihátka s průměrem 28 mm. Každý válec má dva sací a dva výfukové ventily. Tyto typy ventilů se liší průměrem: sací 31,5 mm, výfukový 27,1 mm. Úhly sklonu ventilů jsou 12° pro sání a 14° pro výfuk. Ventily jsou zavírány osmi stejnými pružinami. [27]

6.4 MAZÁNÍ A CHLAZENÍ

6.4.1 MAZÁNÍ

Je použito trochoidní olejové čerpadlo. Rotor čerpadla je poháněn ozubeným kolem od spodní vyvažovací hřídele. Čerpadlo dopravuje olej ze sacího koše v olejové vaně do olejového filtru, dále do výměníku tepla a posléze je dopravován do ložisek. Olej je ve výměníku chlazen chladicí kapalinou. Ta po startu oleji dodává teplo a při zahřátém motoru ho naopak z oleje odebírá.

6.4.2 CHLADICÍ OKRUH

Elektromobil BMW i3 bez prodlužovače dojezdu disponuje chladicím okruhem pro vysokonapěťové komponenty. Při aplikaci prodlužovače však musí být použit sekundární okruh pro spalovací motor. Tyto okruhy mají společný tepelný výměník, jelikož sekundární

okruh nemá chladič. Přístup chladicí kapaliny sekundárního okruhu je řízen termostatem, který se začíná otvírat při 85 °C a plně otevřen je při 95 °C. Čerpadlo chladicí kapaliny je plně mechanické a je přímo závislé na otáčkách motoru, není zde žádná řídicí elektronika.

Jelikož je motor masivně zaizolován pro zlepšení NVH komfortu, hrozí přehřívání komponent v motorovém prostoru. Z toho důvodu je nainstalován přídatný větrák, který se zapíná automaticky se spuštěním motoru a v závislosti na teplotě může běžet i několik minut po vypnutí.

6.5 SACÍ A VÝFUKOVÝ SYSTÉM

Sací potrubí obsahuje dvoudílný tlumič sání s integrovaným vzduchovým filtrem. Tlumič je však nerozebíratelný, takže výměna filtru není možná. Sání obsahuje sací kanály tvořící tečné víření nasávané směsi, což zajišťuje turbulentní proudění vzduchu nasávaného do motoru. Tím se zvyšuje efektivita spalování především při částečném zatížení.

Logickým cílem při vývoji výfukového potrubí bylo dosáhnout co nejnižší hladiny hluku. Avšak musela být dodržena i kompaktnost rozměrů. Výfukové potrubí je izolované vrstvou vzduchu, takže tepelné ztráty do okolí jsou malé a z toho plyne rychlé zahřátí katalyzátoru na provozní teplotu. Výfukové potrubí obsahuje také tlumič.

6.6 PROVOZNÍ REŽIM

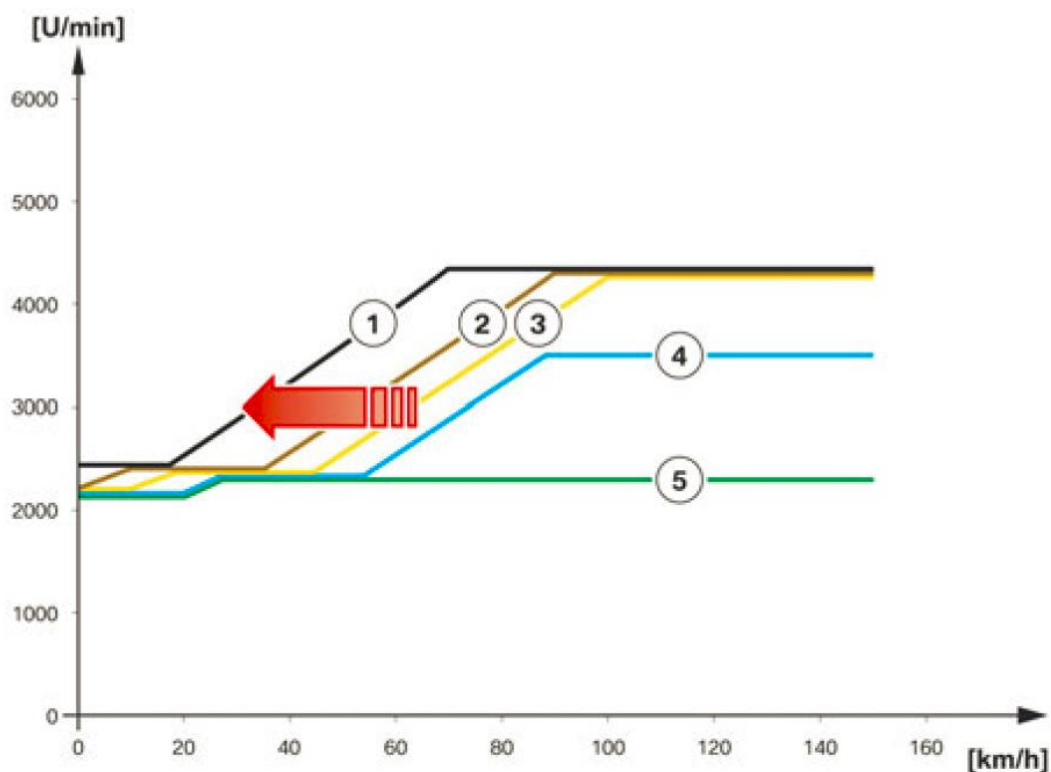
Při jízdě na baterii její stav nabití průběžně klesá. Při dosažení spínacího bodu (6,5 % SOC) se motor nastartuje a začne pohánět generátor. Stav nabití baterie v této chvíli velmi závisí na stylu jízdy, jelikož výkon produkovaný generátorem nestačí plně pokrýt výkonové požadavky elektromotoru. Pokud je jízda defenzivní, je baterie udržována na konstantní úrovni nabití, nebo může být i dobíjena. Při časté akceleraci však může nabití baterie i nadále klesat. Po dosažení spínacího bodu je motor opět vypnut.

Dále mají vliv na provozní režim také akustika a okolní teplota. Při prvním nastartování nastává fáze zahřívání motoru, kdy je rozsah otáček 2 200–2 400 min⁻¹ v závislosti na rychlosti jízdy. Tato fáze je ovlivněna okolní teplotou a trvá asi 6 minut. Po zahřátí motor operuje v rozsahu 2 200–4 300 min⁻¹. Otáčky jsou ovlivněny především rychlostí vozidla, což souvisí s NVH komfortem. Vliv má také SOC baterie. [27]

Strategie je zobrazena na Obr. 26. Křivky se liší podle stavu nabití baterie:

Tab. 5 Tabulka k Obr. 26 [27]

Křivka	SOC (%)
1	0,7
2	1,5
3	2,5
4	3,5–6,5
5	Zahřívací fáze



Obr. 26 Otáčky motoru v závislosti na rychlosti vozidla [27]

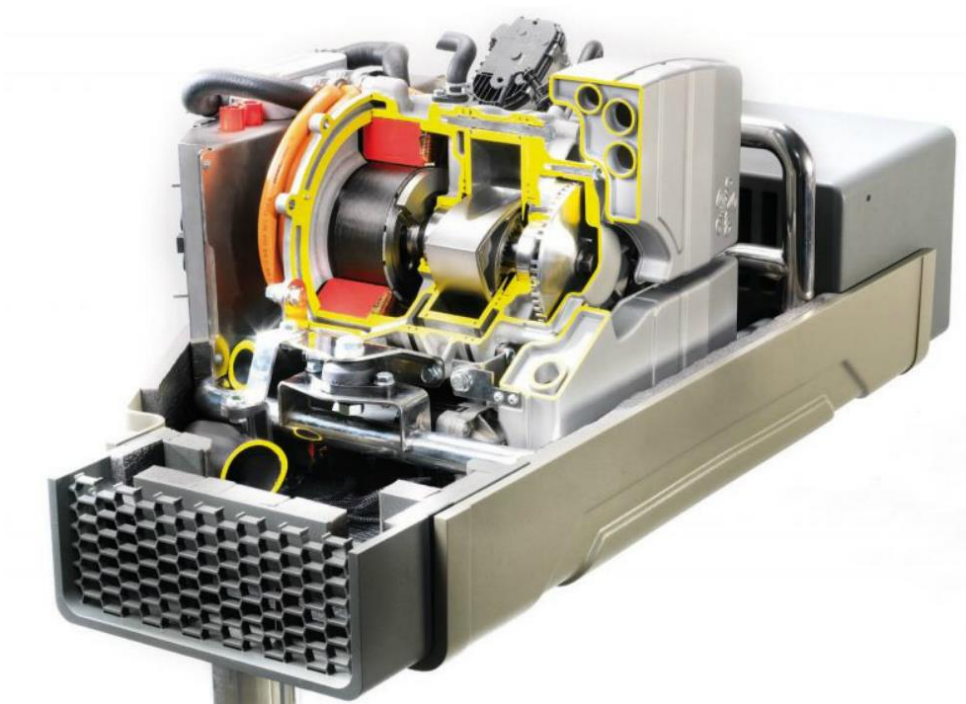
Prodlužovač také disponuje funkcí start/stop. Ta je aktivní při zapnutém bezpečnostním pásu a zavřených dveřích. Podmínkou pro vypnutí motoru je SOC 3,5–3,6 % a rychlost vozu menší než $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Motor je opět nastartován při $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. [27]

Při jízdě výhradně v elektrickém režimu je motor z provozních důvodů přibližně jednou za 8 týdnů preventivně nastartován. Podmínky jsou SOC menší než 75 % a objem benzínu v palivové nádrži větší než 0,8 l. Při nevhodném zapnutí může být motor uživatelem vypnut. [27]

7 DALŠÍ PRODLUŽOVAČE DOJEZDU

7.1 AVL

Jedná se o spalovací motor Wankelova typu s jedním trojbokým pístem. Pro vývoj bylo také postaveno demonstrativní vozidlo na bázi kompaktního vozu Mini. Motor nesměl zasáhnout do vnitřního prostoru. Proto byl zabudován stejně jako produkt firmy KSPG pod podlahu zavazadlového prostoru. Prodlužovač je koncipován jako modulární součást, obsahující spalovací motor, generátor připojený napevno na klikovou hřídel a veškerou řídicí elektroniku. Výfuk je tlumený Helmholtzovým rezonátorem.



Obr. 27 Prodlužovač dojezdu AVL [31]

Tab. 6 Parametry prodlužovače dojezdu AVL [30], [31]

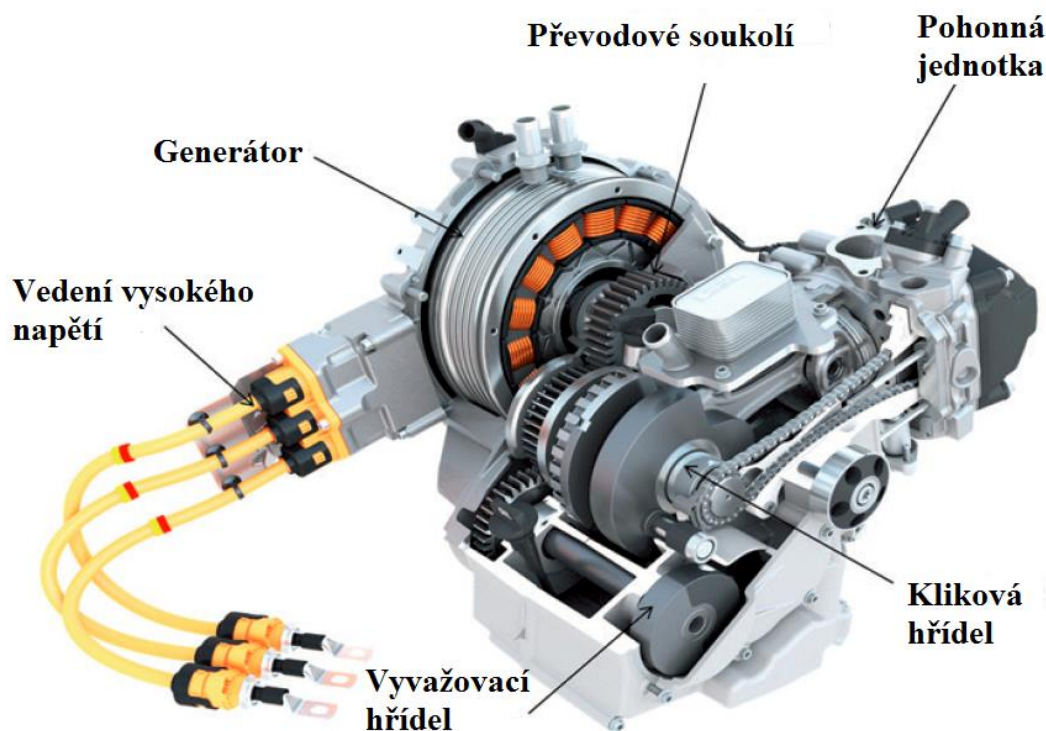
Motor	Wankelův motor s jedním trojbokým pístem
Pracovní objem jedné komory	250 cm ³
Výkon	18 kW při 5 000 min ⁻¹
Spotřeba paliva	260 g·kWh ⁻¹
Norma	Euro 6
Generátor	Synchronní s permanentními magnety
Elektrický výkon	15 kW, 320–420 V
Chladicí okruh	Společný pro celý modul, kapalinový
Hmotnost modulu	65 kg
Rozměry modulu	490 x 400 x 980 mm

7.2 ROTAX BRP

Tento prodlužovač vznikl pod vedením firmy Rotax BRP, avšak na vývoji se podílela i dříve zmíněná společnost AVL. Obě firmy mají původ v Rakousku. Produkt má obchodní název Rotax 1000 a jedná se o jednoválcový agregát o zdvihovém objemu 1 000 cm³, který se používá pro pohon čtyřkolek a terénních vozidel Can-Am. Byly provedeny pouze drobné změny související s NVH komfortem. Tím se značně ušetřilo jak na samotném vývoji, tak i na výrobě, jelikož většina komponentů je shodná s masově produkovaným motorem.

Jako umístění prodlužovače byl zvolen také prostor pod zavazadlovým prostorem. Navíc bylo zvoleno sklonění motoru v úhlu 70 ° a orientace hlavy válce směrem k pravému boku, aby byl dobrý přístup pro servis. Generátor má vlastní skříň a není připojen na klikovou hřídel přímo, nýbrž přes ozubený převod. [32]

Největší změna oproti sériovému motoru se odehrála v oblasti vyvážení motoru, což je u jednoválcového motoru klíčový parametr z hlediska NVH komfortu. Místo jedné vyvažovací hřídele jsou použity dvě. Vyvážení I. řádu setrvačné síly posuvných částí je prováděno z 50 % klikovou hřídelí a 25 % připadá na každou vyvažovací hřídel. Pro optimální výsledky leží všechny tři hřídele v jedné rovině. Vzhledem k expanznímu intervalu čtyřdobého jednoválce (720 ° otočení klikové hřídele) a z toho plynoucí fluktuace otáček v průběhu cyklu, musí být kompenzován i moment působící v uložení motoru. To se děje pomocí pohonu rotoru generátoru přes převod, který mění smysl jeho otáčení, a tím se kompenzují setrvačné síly rotace klikové hřídele. [32]



Obr. 28 Prodlužovač dojezdu Rotax 1000 [32]

Tab. 7 Parametry prodlužovače dojezdu Rotax 1000 [32]

Motor	Čtyřdobý jednoválec
Vrtání x zdvih	91 x 66 mm
Výkon	25 kW při 6 000 min ⁻¹
Počet ventilů	4
Rozvody	SOHC
Hmotnost	54,4 kg
Rozměry	356 x 470 x 386 mm

7.3 LOTUS ENGINEERING – FAGOR EDERLAN

Při vývoji tohoto prodlužovače dojezdu se spojily dvě firmy, které podnikají v různých oborech. Lotus engineering vyvinul spalovací motor, zatímco elektrické komponenty (generátor, ovládací elektronika) jsou produktem firmy Fagor Ederlan. Byly vyvinuty tři typy prodlužovače. Dva řadové tříválce o stejném zdvihovém objemu, lišící se pouze v přepřínování silnější varianty kompresorem poháněným klikovou hřídelí. Třetí variantou je menší dvouválec postavený na základu atmosférického tříválce. Všechny plní normu EURO 6. [33]

Ostatní vlastnosti jsou pro všechny varianty stejné. Generátor je připojen přímo na klikovou hřídel. Vzhledem k vysokému zdvihu jsou motory optimalizovány pro nižší otáčky. Díky tomu je možné použít jen 2 ventily na válec. Je také možné použít širokou paletu pohonných hmot, například alkohol. Orientace montáže může být horizontální i vertikální. [33]



Obr. 29 Prodlužovač dojezdu Lotus engineering-Fagor Ederlan [45]

Tab. 8 Parametry prodlužovače dojezdu Lotus engineering-Fagor Ederlan [34], [33]

Motor	Řadový čtyřdobý tříválec	Řadový čtyřdobý tříválec	Řadový čtyřdobý dvouválec
Zdvihový objem	1 299 cm ³	1 299 cm ³	866 cm ³
Vrtání x zdvih	75 x 90 mm	75 x 90 mm	75 x 90 mm
Plnění	Atmosférické	Přepřínování kompresorem	Atmosférické
Výkon	38 kW při 3 500 min ⁻¹	55 kW při 3 500 min ⁻¹	23 kW při 3 500 min ⁻¹

7.4 FEV

Motor Wankelova typu od firmy FEV byl představen v roce 2009 na Světovém kongresu SAE. Byla to součást konceptu LiiON, elektromobilu postaveném na základu Fiatu 500. Motor byl uložen do prostoru bývalé palivové nádrže. Ta byla nahrazena menší o objemu 12 l. Takto vybavený automobil s plnou nádrží je schopen urazit 306 km s bilancí 50 gCO₂·km⁻¹ [35]. Motor je součástí modulu obsahujícího i generátor. Ten je napojen na klikovou hřídel.



Obr. 30 Prodlužovač dojezdu FEV [33]

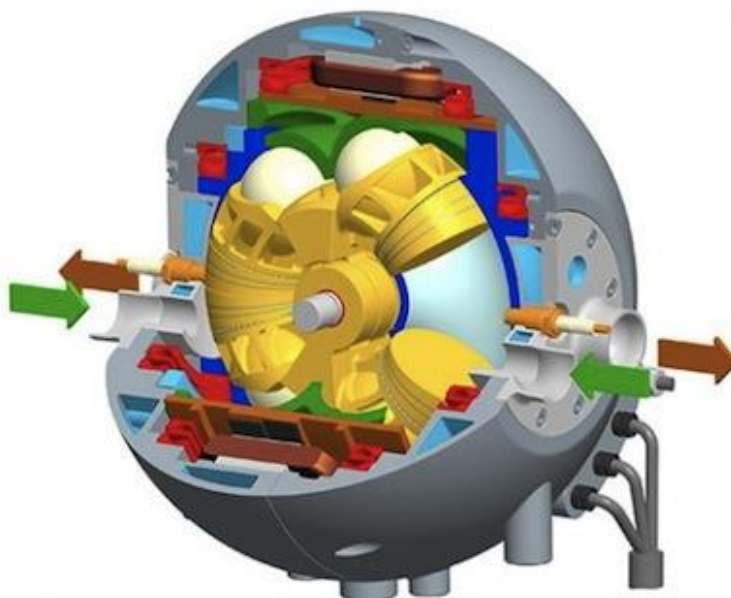
Tab. 9 Parametry prodlužovače FEV [33]

Motor	Wankelův motor s jedním trojbokým pístem
Pracovní objem jedné komory	295 cm ³
Výkon	18 kW
Hmotnost modulu	63 kg
Rozměry modulu	650 x 250 x 275 mm

7.5 HUTTLIN-KUGELMOTOR

Jedná se o tzv. kulový motor vyráběný švýcarskou společností Innomot AG. Byl vyvinut německým vynálezcem Herbertem Huttlinem. Tento motor zcela vybočuje z řady prodlužovačů svojí originalitou a pojetím převodu energie z paliva na rotační pohyb. Je to kombinace pístového a rotačního motoru. Obsahuje dva páry zaoblených pístů, které chodí po obloukových drahách proti sobě. Jeden pár jde vždy k sobě, zatímco druhý od sebe. Jedná se o čtyřdobý motor. Válce jsou součástí rotoru, takže písty konají složený pohyb. V hlavách válců jsou zabudována titanová kulová ložiska, která zapadají do drážek ve statoru. Tvar drážek způsobuje převod pohybu pístů na rotační pohyb.

Motor těží hlavně ze své jednoduchosti. Podle výrobce se konvenční čtyřdobý čtyřválec skládá z 240 dílů, kdežto jejich motor jich obsahuje pouze 64. Další výhodou je to, že rotor motoru obsahuje i rotor generátoru. Ten je tedy přímo v bloku motoru, takže nezabírá místo navíc. Generátor se také používá ke startování motoru. [36]



Obr. 31 Huttlin-kugelmotor [46]

Tab. 10 Parametry prototypu prodlužovače Huttlin-kugelmotor [37]

Motor	Sférický zážehový čtyřdobý dvojitě přeplňovaný
Zdvihový objem	1 180 cm ³
Výkon	74 kW při 3 000 min ⁻¹
Točivý moment	290 N·m
Kompresní poměr	10,5:1
Hmotnost	62 kg

ZÁVĚR

Prodlužovače dojezdu jsou velmi specifickým typem spalovacích motorů. Od trakčních motorů, používaných v konvenčních automobilech, se liší především provozním režimem. Z důvodu modulárnosti (prodlužovač společně s generátorem v jednom celku), potřebné pro snadnou instalaci do různých modelů, musí být spalovací motor zapojen v pohonné soustavě sériově. Z toho plyne, že mohou být prodlužovače používány při konstantních otáčkách a při plném zatížení, což umožňuje optimalizaci účinnosti. Jsou na ně také kladeny rozdílné požadavky, především co se týče NVH komfortu. V této oblasti jsou velké možnosti zlepšení do budoucna. Spalovací pístové motory mají v tomto parametru velkou konkurenci v podobě méně hlučných Wankelových motorů a prakticky nehlučných palivových článků. Pístové motory se musejí potýkat s velkými setrvačnými silami, které způsobují vibrace a hluk. Tyto síly vyplývají z principu převodu přímočarého translačního pohybu na pohyb rotační. Proto je velkou výzvou pro inženýry optimalizovat vyvážení těchto motorů.

Dále je potřebné zaměřit se na ekonomickou stránku věci. Jaké jsou podmínky pro úspěšnou aplikaci prodlužovačů do automobilového průmyslu? Z hlediska vývoje a výroby se naskýtá velká příležitost pro subdodavatele. Velké automobilky většinou nedisponují motory potřebných parametrů (zdvihový objem, počet válců). Pokud by si tedy chtěly vyrábět prodlužovače samy, musely by investovat velké sumy do vývoje a výroby. Navíc by produkce v nejbližší budoucnosti probíhala pouze v malých sériích, takže by se to automobilkám nevyplatilo. Ekonomicky výhodněji se tedy jeví nakupovat prodlužovače dojezdu od externích dodavatelů, kteří mají prostředky a zkušenosti pro takovou výrobu. Tuto strategii zvolilo i BMW u svého modelu i3 REx. Firmě, zakládající si jinak na vlastních motorech, dodává prodlužovač dojezdu subdodavatel. Ekonomicky je to výhodné pro obě strany.

Jaký je tedy potenciální přínos prodlužovačů dojezdu? Velké pozitivum je patrné především v oblasti akceptace elektromobilu zákazníkem. Při současném stavu vývoje baterií mnoho lidí odrazuje od koupě elektrického auta omezený dojezd, dlouhá doba nabíjení a velká hmotnost baterií. Se spalovacím motorem, který dodává energii při vybití baterií, však všechna tato omezení zmizí nebo jsou redukována. Je výrazně prodloužen dojezd na jedno nabití v součtu s jednou nádrží paliva, navíc s možností dotankovat na kterékoliv čerpací stanici. Přitom je zachován určitý bezemisní rádius, který pokrývá typický městský provoz a dojíždění do práce. To se pozitivně projeví na ovzduší ve velkých městech. Dále je také možné zmenšit baterie a tím snížit hmotnost a cenu elektromobilu. Aby dávalo použití prodlužovače dojezdu smysl, musí být také splněna podmínka, že bude takto vybavený elektromobil v součtu levnější než elektromobil, obsahující pouze baterie s podobným dojezdem.

Jedná se tedy o jakýsi mezikrok v přechodu od spalovacích automobilů k elektromobilům. Tento přechod se zdá při současném trendu vývoje emisních limitů nevyhnutelný. Použití prodlužovačů dojezdu může usnadnit a urychlit nástup elektromobility. Pokud však bude pokračovat progresivní vývoj v oblasti akumulátorů (v prvním grafu na Obr. 12 bude sklon přímky znázorňující cenu baterie klesat), nastane v budoucnu doba, kdy začnou prodlužovače postrádat smysl. Otázka je kdy a jestli vůbec se tak stane. V současnosti však tato koncepce smysl má a má také potenciál sehrát důležitou roli v historii automobilismu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] DENBRATT, Ingemar, Aleksandar SUBIC a Jörg WELLNITZ. *Sustainable automotive technologies 2014: Proceedings of the 6th ICSAT* [online]. 1. Cham: Springer International Publishing, 2015 [cit. 2017-04-10]. ISBN 978-3-319-17998-8. ISSN 2196-5544. Dostupné z: <http://www.springer.com/us/book/9783319179988>
- [2] Emise škodlivin ve výfukových plynech. In: *Mechatronika* [online]. Podbořany, b.r. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-204_01_emiseskodlivinvevyfukovychplynech_zakladnipojmy.pdf
- [3] Emisní norma EURO. *Autolexicon.net: ...s námi uvidíte pod kapotu.* [online]. autolexicon.net, 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [4] Obnovitelná energie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%A1_energie
- [5] Prof. Ferdinand Porsche Created the First Functional Hybrid Car. *Porsche Press USA* [online]. Atlanta: Porsche Cars North America, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://press.porsche.com/news/release.php?id=642>
- [6] Energy density. *Energy Education* [online]. Calgary: University of Calgary, b.r. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://energyeducation.ca/encyclopedia/Energy_density
- [7] How Do Hybrid Cars and Trucks Work?. In: *Union of Concerned Scientists: Science for a healthy planet and safer word* [online]. Cambridge (Massachusetts): Union of Concerned Scientists, b.r. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-hybrids-work#.WNGNC_nhBPZ
- [8] One car. Three powertrains. In: *Hyundai: New thinking. New possibilities.* [online]. Walsall: Hyundai Motor UK, c2007-2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.hyundai.co.uk/models/ioniq/gallery-model-image.png>
- [9] How Do Plug-in Hybrid Electric Cars Work?. In: *Union of Concerned Scientists: Science for a healthy planet and safer word* [online]. Cambridge (Massachusetts): Union of Concerned Scientists, b.r. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work#.WNGNtvnhBPZ>

- [10] Series vs Parallel vs Series/Parallel Drivetrains. In: *Union of Concerned Scientists: Science for a healthy planet and safer world* [online]. Cambridge (Massachusetts): Union of Concerned Scientists, b.r. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/series-vs-parallel-drivetrains#bf-toc-1>
- [11] ŠEVČÍK, Pavel. *Výpočet jednofázového asynchronního motoru* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/10784>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Vítězslav Hájek.
- [12] ROZKOŠNÝ, Miroslav. *Realizace řízení stejnosměrných elektromotorů* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2010 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/15263>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Pavel Houška.
- [13] MICHALICZEK, Jan. *Synchronní generátor s permanentními magnety a aktivním usměrňovačem* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/20894>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Ondřej Vítek.
- [14] ČERNÝ, Ondřej. *Výzkum perspektivních metod mikroprocesorového řízení pro trakční synchronní motor s permanentními magnety*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009. Dizertační práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Jaroslav Novák.
- [15] Baterie v elektromobilech. *Elektromobily: Informace* [online]. 2010 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>
- [16] BARTOŠEK, Martin. *Li-ion trakční akumulátor 28V/40Ah pro elektrokolo* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/61479>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Pavel Vorel.
- [17] HAMMER, Miloš. *Elektrotechnika a elektronika: přednášky*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 134 s. : il. ISBN 8021433345.
- [18] GENENDER, Peter, Friedrich-Wilhelm SPECKENS a Gregor SCHÜRMAN. Acoustics development of range extenders for electric vehicles. *MTZ worldwide* [online]. 2011, **72**(3), 28-33 [cit. 2017-03-21]. DOI: 10.1365/s38313-011-0026-0. ISSN 2192-9114. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1365/s38313-011-0026-0>

- [19] KOVAŘÍK, Ladislav. *Motory Wankelovy a jim příbuzné*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970, 204 s. : il., tabulky.
- [20] BASSETT, Mike, Jonathan HALL, Tony CAINS a Marco WARTH. Vehicle Integration of a Range Extender Engine. *MTZ worldwide* [online]. 2012, **73**(11), 16-19 [cit. 2017-03-21]. DOI: 10.1007/s38313-012-0235-1. ISSN 2192-9114. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s38313-012-0235-1>
- [21] MAHR, Bernd, Mike BASSETT, Jonathan HALL a Marco WARTH. Development of an efficient and compact range extender engine. *MTZ worldwide* [online]. 2011, **72**(10), 16-23 [cit. 2017-03-21]. DOI: 10.1365/s38313-011-0096-z. ISSN 2192-9114. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1365/s38313-011-0096-z>
- [22] Common Artemis Driving Cycles (CADC). In: *DieselNet* [online]. ECOpoint, 2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <https://www.dieselnets.com/standards/cycles/artemis.php>
- [23] Metal-edge filters. *MAHLE* [online]. Morristown: MAHLE, 2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://www.us.mahle.com/mahle_north_america/en/motorsports/features-and-benefits/
- [24] AUDI A1 1.2 TFSI Sport 86PS. In: *Next Green Car* [online]. Bristol: Next Green Car, c2008-2017 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.nextgreencar.com/view-car/34612/audi-a1-1.2-tfsi-sport-86ps-petrol-manual-5-speed/>
- [25] ANDERT, Jakob, Eduard KÖHLER, Jürgen NIEHUES a Gregor SCHÜRMAN. KSPG Range Extender: A new pathfinder to electromobility. *MTZ worldwide* [online]. 2012, **73**(5), 12-18 [cit. 2017-03-21]. DOI: 10.1007/s38313-012-0170-1. ISSN 2192-9114. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s38313-012-0170-1>
- [26] KSPG shows new compact two-cylinder range extender for EVs, variable valve system. In: *Green car congress: Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility* [online]. BioAge Group, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.greencarcongress.com/2012/01/kspg-20120111.html>
- [27] *Technical training: Product information, W20 engine*. Unterschleißheim (Germany), 2013. Dostupné také z: https://dl.dropboxusercontent.com/u/234445/12_W20%20Engine.pdf
- [28] BMW C 650GT. *MCS: Motorcyclespecs* [online]. b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://www.motorcyclespecs.co.za/model/bmw/bmw_c_650GT%2012.htm
- [29] 2-CYLINDER GASOLINE RANGE EXTENDER ENGINE: HIGHLY EFFICIENT AND EXTREMELY COMPACT. *BMW Group: Powertrain systems business customers* [online]. BMW Group, b.r. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://www.bmw-powertrain.com/powertrain/en/automotive_engines/2-cylinder_gasoline_engines.html

- [30] SAMS, T. a B. SIFFERLINGER. AVL Rotary Range Extender: A Rotary Engine Based Range Extender Concep. In: *Fuerex* [online]. Delft: Uniresearch, 2013 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://www.fuerex.eu/userdata/file/2013.01.30-eMobility-Conference-Graz/FUEREX-eMobility-P04-Rotary_REX_concept-AVL-Sifferlinger-2013.01.30.pdf
- [31] AVL Range Extender Technologies and Engineering Services. In: *AVL* [online]. Graz: AVL LIST, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: https://www.avl.com/html/static/emag/Range_Extender/index.html
- [32] Range extender for electrified vehicles: Combined expertise. In: *Rotax* [online]. Günskirchen: BRP-Rotax, 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://www.rotax.com/files/project/userdata/news/2014/RANGEEEXTENDERFORELECTRIFIEDVEHICLES/09052014RangeExtenderforElectrifiedVehicles.pdf>
- [33] NOGA, Marcin. Application of the internal combustion engine as a range-extender for electric vehicles. *Combustion Engines*. Poznań: Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, 2013, **2013**(3), 781-786. ISSN 0138-0346.
- [34] Lotus Range Extender. In: *Lotus Car Club of Sweden: Lotus Car Club of Sweden Lotus Car Club of Sweden's Official Forum* [online]. phpBB Limited, c2006-2015 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.lccs.nu/forum/viewtopic.php?t=3920>
- [35] FEV LiiON Vehicle With Wankel Range Extender at the Vienna Motor Symposium. In: *Green car congress: Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility* [online]. BioAge Group, 2010 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.greencarcongress.com/2010/05/fev-20100512.html>
- [36] Hüttlin-Kugel Motor: Tajemná koule. In: *Enviweb* [online]. Brno: The Associated Press, 2008 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/ekoauto/87960/huttlin-kugel-motor-tajemna-koule>
- [37] *Spherical engine/generator-unit can boost electrical car dynamics* [online]. In: . b.r. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.magix-website.com/mppo14/50/A6A/A6AB9F50B39111E0A751A83951DD5030.pdf>
- [38] CORFIELD, Sammy. Zhengzhou smog: the smog under the Zhongyuan Fortune Tower in Zhengzhou. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Zhengzhou_smog.jpg
- [39] Hyundai Ioniq: Technické údaje. In: *Hyundai* [online]. Hyundai Motor Czech, b.r. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: https://www.hyundai.cz/files/download/model/ioniq-hybrid/Hyundai%20Ioniq_2016_150916_technick%C3%A1_data.pdf

- [40] Toyota Prius Plug-in Hybrid: Paris Motor Show 2016. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2006 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toyota_Prius_Plug-in_Hybrid_-_Paris_Motor_Show_2016_01.jpg
- [41] VAN DEN BOSSCHE, Peter. Structure of a parallel hybrid vehicle. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2006 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hybridpar.png>
- [42] VAN DEN BOSSCHE, Peter. Structure of a series hybrid vehicle. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2006 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Hybridserie.png>
- [43] BMW i3 Range Extender. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2014 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/BMW_i3_Range_Extender_%281Z06%29_front.JPG
- [44] MAHLE compact range extender engine. In: *Mahle Powertrain* [online]. Northampton: MAHLE Powertrain, 2015 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://www.mahle-powertrain.com/media/mahle_powertrain/news-and-press/brochures/range_extender/10-2015-mahle-rex-engine-eng.pdf
- [45] Fagor Ederlan and Lotus Engineering present their Lotus Range Extender eco-engine model in Geneva. In: *Fagor ederlan taldea* [online]. Guipuzcoa: Fagor Ederlan Group, b.r. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.fagorederlan.es/ENGLISH/Press/tabid/228/articleType/ArticleView/articleId/17/Fagor-Ederlan-and-Lotus-Engineering-present-their-Lotus-Range-Extender-ecoengine-model-in-Geneva.aspx>
- [46] Hüttlin Kugelmotor: Geniální sférický motor pro hybridní auta, větrné elektrárny i domácnosti. In: *HYBRID.cz* [online]. Chamanne, 2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/huettlin-kugelmotor-genialni-sfericky-motor-pro-hybridni-auta-vetrne-elektrarny-i-domacnosti>
- [47] CHRISTIE, Leigh. Is it true that battery energy density improves 5-8% per year?. In: *Quora* [online]. Mountain View (California): Quora, Inc., 2013 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://www.quora.com/Is-it-true-that-battery-energy-density-improves-5-8-per-year>
- [48] SANDER, Georg. 1900 Lohner-Porsche Mixte-Wagen. In: *Flickr: Find your inspiration* [online]. Goodwood House (Velká Británie), 2013 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.flickr.com/photos/geralds_1311/9483066079
- [49] Nissan Leaf 012: Nissan Leaf at the 2009 Tokyo Motor Show. In: *Wikimedia Commons* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2009 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/40/Nissan_Leaf_012.JPG

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>CADC</i>	Common Artemis Driving Cycle (metodika vývoje na základě vzorců chování řidičů)
<i>EV</i>	Electric Vehicle (elektromobil)
<i>FEVcom</i>	Full Engine Vibration COMPensation (systém kompenzace vibrací)
<i>FIA</i>	Fédération Internationale de l'Automobile (Mezinárodní automobilová federace)
<i>HEV</i>	Hybrid Electric Vehicle
<i>KSPG</i>	KolbenSchmidt PierburG (bývalá německá firma)
<i>NEDC</i>	New European Driving Cycle (metodika měření spotřeby a emisí do 2017)
<i>NVH</i>	Noise, Vibration, Harshness (hlukové a vibrační kritérium motoru)
<i>PHEV</i>	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
<i>REEV</i>	Range-Extended Electric Vehicle (elektromobil s prodlužovačem dojezdu)
<i>REx</i>	Range Extender (prodlužovač dojezdu)
<i>SOC</i>	State Of Charge (stav nabití baterie)
<i>WLTC</i>	Worldwide harmonized Light vehicle Test Cycle (metodika měření spotřeby a emisí od 2017)
η_{sm}	(1) účinnost spalovacího motoru
η_g	(1) účinnost generátoru
η_m	(1) účinnost měniče
η_{bn}	(1) účinnost nabíjení baterie
η_{bv}	(1) účinnost vybíjení baterie
η_{em}	(1) účinnost elektromotoru
η_{pr}	(1) účinnost převodovky
η_{vol}	(1) objemová účinnost