

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**  
**KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ**

# **DISERTAČNÍ PRÁCE**

**2012**

**Ing. Petr Kleisner**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA STROJNÍ**

**KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ**

Disertační práce  
k získání akademického titulu doktor

Doktorský studijní program: P2301      Strojní inženýrství  
Studijní obor:                              2302V019      Stavba strojů a zařízení

**Ing. PETR KLEISNER**

**KOMPLEXNÍ HODNOCENÍ ENERGETICKÉ  
NÁROČNOSTI KOMPONENT PRO DOPRAVNÍ A  
MANIPULAČNÍ TECHNIKU**

Školitel: Doc. Ing. Josef Formánek, PhD.

Plzeň  
Srpen 2012

### PROHLÁŠENÍ

Předkládám tímto k posouzení disertační práci, jejíž téma je „Energetické hodnocení provozu dopravních prostředků“. Tato práce je koncipována dle požadavků Studijního a zkušebního řádu Západočeské univerzity v Plzni, tj. obsahuje zejména shrnutí a zhodnocení poznatků ve studované oblasti a seznam souvisejících publikací. Současně je přiložen seznam mých dalších aktivit a činností souvisejících s mým dosavadním prezenčním studiem na Západočeské univerzitě v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto písemnou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Plzni dne: .....

Podpis .....

### UPOZORNĚNÍ

Podle zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR), § 17, zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně - technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy se souhlasem autora, autorů citovaných prací a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

**PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří mě doposud v mém úsilí podporovali, zejména pak svému školiteli, Doc. Ing. Josefu Formánkovi, Ph.D., za všestrannou podporu, Ing. Janu Kutlwašerovi za spolupráci na projektu elektromobilu EHR 10 a svým konzultantům za odborné příspěvky a rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodičům, Jindřišce a přátelům za velkou trpělivost a podporu v mém úsilí.

**Bibliografická citace**

Kleisner P., *Komplexní hodnocení energetické náročnosti komponent pro dopravní a manipulační techniku*, Plzeň 2012, Disertační práce na ZČU v Plzni - Fakulta strojní, katedra konstruování strojů. Vedoucí disertační práce Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.

## Anotace

Tématem předkládané disertační práce je "Komplexní hodnocení energetické náročnosti komponent pro dopravní a manipulační techniku.

Předkládaná disertační práce respektuje směr vývoje, kterým se v současné době ubírá celý automobilový průmysl - tedy do oblasti vozidel s nízkou energetickou náročností provozu. Předkládaná práce se nezabývá řešenou problematikou jen v teoretické rovině, ale je kladen velký důraz na aplikační část řešení problematiky - součástí disertační práce je analýza elektromobilu EHR 10, který byl vyvinut ve spolupráci ZČU v Plzni s plzeňskou firmou Auto Projekt Centrum s.r.o.

Rozvinutím projekční a konstrukční filosofie, dle které byl vytvořen elektromobil EHR 10 je duální hybridní pohon E/E, který využívá kombinace spalovací jednotky s prodlouženou délkou expanze a elektromotorů. Předkládaná disertační práce tedy rozšiřuje analytickou a vědomostní základnu pro projektování a konstruování vozidel s nízkou energetickou náročností provozu vozidla.

### Klíčová slova

Duální hybridní pohon, E/E, Energetická náročnost provozu, EHR 10

## Annotation

Le sujet de thèse de doctorat soumis est "Une évaluation complète de l'intensité énergétique des composants pour la technologie de transport et manipulation.

La thèse de doctorat présentée respecte le sens du développement, vers qui est actuellement dirigé l'industrie automobile – ainsi dans le domaine des véhicules avec l'intensité énergétique de l'opération basse. La thèse de doctorat soumise n'aborde pas la question résolue seulement en théorie, mais l'accent est mis sur l'application de la résolution des problèmes - la partie de la thèse doctorale est une analyse de voiture électrique EHR 10, qui a été développée en collaboration de l'Université de Bohême de l'Ouest avec l'entreprise de Pilsen - Auto Projekt Centrum s.r.o.

Développer la philosophie de projection et de construction, selon laquelle la voiture électrique EHR 10 a été créée, est un double hybride drive E/E, qui utilise une combinaison d'unités de combustion avec longueur étendue de l'expansion des moteurs électriques. La thèse de doctorat présentée étend donc élargi base analytique et base des connaissances pour la conception et construction des véhicules avec l'intensité énergétique de l'opération basse.

### Mots-clés

Double hybride drive, E/E, l'intensité de l'énergie de l'opération, EHR 10

## **Annotation**

The doctoral thesis subject is „Complex evaluation of energy consumption components for transportation and handling technology“.

Submitted doctoral thesis respects the trends which are currently proceeding in automotive industry – in vehicles with low energy consumption operation. The doctoral thesis does not address the issue only in theory, but the emphasis is placed on the application part of problem solving – the doctoral thesis part is an analysis of electric vehicle EHR 10, which was developed in collaboration of University of West Bohemia Pilsen with Auto Projekt Centrum s.r.o.

Developing design and construction philosophy, according to which the electric vehicle EHR 10 was created, is dual hybrid drive E/E exploiting combination of combustion unit with extended length engine expansion. Submitted doctoral thesis thus expands the analytical and knowledge base for design and construction vehicles with low energy consumption operation.

### **Keywords**

Dual hybrid drive, E/E, energy consumption of operation, EHR 10

# Obsah

<b>Anotace</b> .....	<b>V</b>
<b>Annotation</b> .....	<b>VI</b>
<b>Annotation</b> .....	<b>VII</b>
<b>A. Seznam obrázků</b> .....	<b>XII</b>
<b>B. Seznam tabulek</b> .....	<b>XIV</b>
<b>C. Seznam grafů</b> .....	<b>XVI</b>
<b>D. Použité zkratky</b> .....	<b>XIX</b>
<b>E. Použité veličiny</b> .....	<b>XXI</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>1</b>
1.2. Cíle disertační práce .....	3
1.3. Podněty ke vzniku disertační práce .....	3
<b>2. Analýza vozidla Peugeot 106 1.0</b> .....	<b>6</b>
2.1. Parametry vozidla Peugeot 106 1.0 .....	7
2.2. Výsledky výpočtu vnějších charakteristik vozidla.....	10
2.2.1. Pilový diagram .....	10
2.2.2. Určení maximální stoupavosti vozidla .....	12
2.2.3. Určení zrychlení vozidla a pružnosti pohonné jednotky vozidla.....	13
2.2.4. Teoretický výpočet spotřeby vozidla Peugeot 106 1.0 dle metodiky NEDC .....	14
2.3. Praktická část analýzy vozidla Peugeot 106 1.0 .....	14
2.4. Souhrn analýzy vozidla Peugeot 106 1.0.....	16
<b>3. Informace o vozidle Peugeot 106 electric</b> .....	<b>18</b>
3.1. Srovnání vozidel Peugeot 106 v benzínové a elektrické verzi.....	20
<b>4. Elektromobil EHR 10</b> .....	<b>22</b>
4.1. Obecné informace.....	22
4.1.1. Typový list elektromobilu EHR 10 .....	23
4.2. Technická specifikace elektromobilu EHR 10.....	25
4.2.1. Baterie .....	25
4.2.2. Měníč.....	25
4.2.3. Elektromotor .....	26
4.2.4. Převodovka a rozvodovka .....	27
4.3. Vypočtené vnější charakteristiky elektromobilu EHR 10 .....	28
4.3.1. Pilový diagram .....	28



---

4.3.2 Určení maximální stoupavosti elektromobilu EHR 10.....	29
4.3.3 Určení zrychlení a pružnosti pohonné jednotky elektromobilu EHR 10.....	30
4.3.4 Teoretický výpočet spotřeby elektromobilu EHR 10 dle metodiky NEDC.....	31
4.4. Energetická náročnost provozu elektromobilu EHR 10 .....	32
4.4.1. Provoz slaboproudého okruhu.....	32
4.4.2. Provoz silnoproudého okruhu.....	33
4.5. Rekuperace a její vliv na provoz elektromobilu EHR 10.....	35
4.6. Srovnávací test elektromobilů Opel Corsa Elektra a EHR10 .....	37
4.7. Souhrn analýzy elektromobilu EHR 10.....	39
<b>5. Sběr informací a řídičských dat pro systémový vývoj pohonu E/E .....</b>	<b>40</b>
5.1. Škoda Octavia II 2.0 TDI PD 103 kW .....	40
5.1.1. Statistické hodnocení provozu - rok 2010.....	40
5.1.2. Statistické hodnocení provozu - rok 2011 .....	42
5.1.3. Shrnutí sběru informací z provozu vozidla Škoda Octavia II 2.0 TDI – PD – 103 kW	43
5.2. Dacia Sandero 1.4 MPi .....	44
5.2.1. Statistické hodnocení provozu - rok 2011.....	44
5.2.2. Shrnutí sběru informací provozu vozidla Dacia Sandero 1.4 MPi .....	45
5.3. Škoda Superb II 2.0 TDI CMR 125 kW .....	47
5.3.1. Statistické hodnocení provozu - rok 2010.....	47
5.3.2. Shrnutí sběru informací z provozu vozidla Škoda Superb II 2.0 125 kW.....	48
5.4. Peugeot 207 SW 1.4.....	49
5.4.1. Statistické hodnocení provozu - rok 2011.....	49
5.4.2. Shrnutí sběru informací z provozu vozidla Peugeot 207SW 1.4 .....	50
5.5. Shrnutí získané sběrem informací a jízdních dat .....	51
<b>6. Základní návrh vozidla pro denní použití .....</b>	<b>53</b>
<b>7. Základní specifikace hybridního pohonu E/E .....</b>	<b>54</b>
7.1. Popis jednotlivých možných funkčních kombinací pohonu E/E.....	54
7.1.1. Spalovací motor kombinace 4x2 .....	54
7.1.2. Sériový hybridní pohon kombinace 4x2.....	55
7.1.3. Elektromobil kombinace 4x2.....	55
7.1.4. Paralelní hybrid kombinace 4x4 .....	55
<b>8. Komponenty duálního hybridního pohonu E/E.....</b>	<b>56</b>
8.1. Spalovací motor s prodlouženou expanzí .....	56
8.2. Elektrický motor .....	64

---

8.3. Převodovka.....	66
8.3.1. Konstrukční schéma převodovky .....	66
8.3.2. Konstrukční schéma řadicího mechanismu převodovky.....	68
8.4. Spojka .....	69
8.4.1. Konstrukce spojky .....	69
8.4.2. Systém Clutch drive.....	71
8.5. Diferenciály .....	72
8.5.1. Diferenciál přední nápravy.....	72
8.5.2. Diferenciál zadní nápravy.....	72
8.5.3. Mezinápravový diferenciál.....	74
8.6. Systém tepelné pohody kabiny posádky.....	75
8.6.1. Fotovoltaický článek.....	76
8.6.2. Pasivní ventilační systém vozidla .....	76
8.6.3. Určení tepelné pohody cestujících.....	80
8.6.4. Distribuce a cirkulace vzduchu ovlivněná pasivním systémem tepelné pohody.....	83
8.6.5. Energetické hodnocení systému tepelné pohody v pohonu E/E .....	86
8.6.6. Zhodnocení systému tepelné pohody kabiny posádky.....	86
8.7. Generátor pro mód sériového hybridu.....	87
<b>9. Vnější charakteristiky vozidla osazeného pohonem E/E.....</b>	<b>89</b>
9.1 Výpočtové parametry vozidla vybaveného duálním hybridním pohonem E/E .....	90
Výpočet hmotnosti.....	90
9.2. Vypočtené parametry vozidla osazeného duálním hybridním systémem E/E .....	92
9.2.1. Mód - spalovací motor .....	92
9.2.2. Mód elektromobil .....	96
9.2.3. Mód paralelní hybrid 4x4.....	100
9.2.4. Mód sériový hybrid .....	104
<b>10. Výpočet spotřeby vozidla .....</b>	<b>105</b>
10.1. Výpočet spotřeby vozidla v módu spalovacího motoru.....	106
10.2. Spotřeba energie v módu čistého elektromobilu .....	107
10.3. Výpočet spotřeby paliva pro mód sériového hybridu.....	109
10.4. Výpočet spotřeby paliva pro mód paralelního hybridu .....	110
<b>11. Dimenzování palubní trakční baterie.....</b>	<b>111</b>
<b>12. Slaboproudá instalace vozidla.....</b>	<b>115</b>
12.1 Energetická náročnost provozu slaboproudé elektroinstalace vozidla .....	116

---

<b>13. Předpokládané rozmístění komponent duálního hybridního systému E/E na palubě vozidla.....</b>	<b>117</b>
<b>14. Shrnutí systémového návrhu vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E .....</b>	<b>120</b>
<b>15. Závěr disertační práce .....</b>	<b>123</b>
<b>I. Seznam literatury .....</b>	<b>129</b>
<b>II. Internetové zdroje .....</b>	<b>131</b>
<b>III. Přehled vědecké činnosti autora dle OBD.....</b>	<b>132</b>

## A. Seznam obrázků

obr. 2-1 Peugeot 106 1.0 verze VF31ACDYE

obr. 3-1 rozložení elektrovýzbroje ve vozidle Citroen Saxo/ Peugeot 106

obr. 3-2 pohonná jednotka se stálým převodem od firmy Leroy Sommer

obr. 4-1 elektromobil EHR 10

obr. 4-2 vybíjecí charakteristika článku 3.2V 200 Ah při teplotě 25°C

obr. 4-3 převodové ústrojí elektromobilu EHR 10

obr. 4-4 testovací okruh městského provozu elektromobilu EHR 10

obr. 8-1 Atkinsonův cyklus

obr.8-2 řez Audreaovým motorem

obr. 8-3 3D vizualizace klikového mechanismu

obr. 8-4 vnější otáčkové charakteristiky elektromotoru z produkce firmy Greenmotorsport

obr. 8-5 složení hřídelí převodovky

obr. 8-6 řadící mechanismus převodovky

obr. 8-7 jednolamelová spojka s talířovou přítlačnou pružinou

obr. 8-8 schéma robotizované převodovky DSG

obr. 8-9 diferenciál přední nápravy

obr. 8-10 schéma elektronického diferenciálu

obr. 8-11 experimentální elektrická motokára EleQuad

obr. 8-12 sklo siglasol

obr. 8-13 ventilátor NP-P14-FLX

obr. 8-14 schematické rozložení ventilace a vytápění sedáku sedadla

obr. 8-15 rozdělení lidského těla na zóny dle vnímání pocitu tepla

obr. 8 - 16 porovnání výsledků simulace teploty automobilu - případ A horní část obr, případ F dolní část obr

obr. 9-1 základní systémový model vozidla osazeného pohonem E/E

obr. 9-2 materiálové složení skeletu karoserie Škoda Fabia II

obr. 11-1 rozměrový náčrt článku s parametry 3,2V 200Ah od firmy Thunder Sky

obr. 11-2 vybíjecí charakteristika článku s parametry 3,2V 200Ah od firmy Thunder Sky

obr. 11-3 ilustrativní příklad zapojení monitorovacího systému palubní trakční baterie

obr.12-1 zadní sdružená LED svítidla

obr.12-2 přední sdružený xenonový světlomet s integrovaným denním LED světlometem

obr.13-1 rentgenový snímek řešeného vozidla

obr.13-2 spodní pohled na rozložení komponent

obr.13-3 rozložení komponent v motorovém prostoru

obr.13-4 rozložení komponent v zadní části vozidla

## B. Seznam tabulek

tabulka 2-I rozhodovací tabulka řazení vozidla Peugeot 106 1.0

tabulka 2-II určení maximálních stoupavostí vozidla Peugeot 106 1.0 pro jednotlivé rychlostní stupně

tabulka 2-III maximální dosažená zrychlení vozidla Peugeot 106 1.0 na jednotlivé rychlostní stupně

tabulka 2-IV zobrazení tankování, spotřeby a nákladů na kilometr jízdy v palivu vozidla Peugeot 106 1.0

tabulka 4-I určení maximální stoupavosti elektromobilu EHR 10 pro jednotlivé rychlostní stupně

tabulka 4-II maximální dosažená zrychlení elektromobilu EHR 10

tabulka 4-III parametrický zápis testovacího okruhu městského provozu elektromobilu EHR 10

tabulka 4-IV srovnání parametrů EHR10 a Opel Corsa Elektra

tabulka 5-I statistika provozu Škoda Octavia II rok 2010

tabulka 5-II statistika provozu Škoda Octavia II rok 2011

tabulka 5-III statistika provozu Dacia Sandero rok 2011

tabulka 5-IV statistika provozu Škoda Superb II rok 2010

tabulka 5- V statistika provozu Peugeot 207 rok 2011

tabulka 8-I parametrizace zdvihů Audreaova motoru

tabulka 8-II převodové poměry převodovky pohonu E/E

tabulka 9-I maximální stoupavost vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu spalovacího motoru

tabulka 9-II maximální zrychlení vozidla na jednotlivé rychlosti stupně v módu spalovacího motoru

tabulka 9-III maximální stoupavost vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu elektromobilu

tabulka 9-IV maximální zrychlení vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu elektromobilu

tabulka 9-V maximální stoupavost vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu paralelního hybridu

tabulka9-VI maximální zrychlení vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu paralelního hybridu

## C. Seznam grafů

graf 2-A naměřené hodnoty výkonu a točivého momentu vozidla Peugeot 106 1.0

graf 2-B aproximované hodnoty výkonu a točivého momentu vozidla Peugeot 106 1.0  
pro analytický výpočet vnějších charakteristik vozidla

graf 2-C pilový diagram vozidla Peugeot 106 1.0

graf 2-D zobrazení měrné hnací síly jednotlivých rychlostních stupňů vozidla Peugeot  
106 1.0

graf 2-E graf charakteristiky zrychlení vozidla Peugeot 106 1.0

graf 4-A parametry stejnosměrného motoru

graf 4-B pilový diagram elektromobilu EHR 10

graf 4-C zobrazení měrné hnací síly jednotlivých rychlostních stupňů elektromobilu EHR  
10

graf 4-D charakteristika zrychlení elektromobilu EHR 10

graf 4-E výškový profil testovacího okruhu městského provozu elektromobilu EHR 10

graf 5-A Škoda Octavia II měsíční rozdělení nájezdu - rok 2010

graf 5-B Škoda Octavia II měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2010

graf 5-C Škoda Octavia II měsíční rozdělení nájezdu - rok 2011

graf 5-D Škoda Octavia II měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2011

graf 5-E Dacia Sandero měsíční rozdělení nájezdu - rok 2011

graf 5-F Dacia Sandero měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2011

graf 5-G Škoda Superb II měsíční rozdělení nájezdu - rok 2010

graf 5-H Škoda Superb II měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2010



graf 5-I Peugeot 207 měsíční rozdělení nájezdu - rok 2011

graf 5-J Peugeot 207 měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2011

graf 8-A teoretické průběhy výkonu a točivého momentu řešeného spalovacího motoru

graf 8-B vypočtená vnější otáčková charakteristika řešeného spalovacího motoru  
graf

graf 8-C srovnání teoretické a vypočtené vnější otáčkové charakteristiky řešeného spalovacího motoru

graf 8-D vnější otáčkové charakteristiky instalované elektrické pohonné jednotky pohonu E/E

graf 8-E hodnocení tepelné pohody vnímání lidským tělem

graf 8-F vyhodnocení počtu nespokojených osob s tepelnou pohodou

graf 8-G srovnání vnitřní teploty vozidla bez úprav a z úpravami pro získání tepelné pohody ve vozidle

graf 8-H srovnání vnější teploty vozidla bez úprav a s úpravami pro získání tepelné pohody ve vozidle

graf 9-A vnější otáčková charakteristika spalovací jednotky pohonu E/E

graf 9 -B pilový diagram módu spalovacího motoru pohonu E/E

graf 9-C grafické určení maximální rychlosti módu spalovacího motoru pohonu E/E

graf 9-D průběhy měrné hnací síly módu spalovacího motoru E/E

graf 9-E průběhy zrychlení módu spalovacího motoru pohonu E/E

graf 9-H vnější otáčková charakteristika elektrické jednotky pohonu E/E

graf 9-I pilový diagram módu elektromobilu pohonu E/E

graf 9-J grafické určení maximální rychlosti módu elektromobilu E/E

graf 9 - K průběhy měrné hnací síly módu elektromobilu pohonu E/E

graf 9-L průběhy zrychlení módu elektromobilu pohonu E/E

graf 9-M vnější otáčková charakteristika paralelní kombinace pohonu E/E

graf 9-N pilový diagram paralelní kombinace pohonu E/E

graf 9 -O grafické určení maximální rychlosti paralelní kombinace pohonu E/E

graf 9 - P průběhy měrné hnací síly paralelní kombinace pohonu E/E

graf 9 -Q průběhy zrychlení paralelní kombinace pohonu E/E

## D. Použité zkratky

*BMS RT* – Battery monitoring system real time – on-line diagnostika baterie

*ECE* - městská část cyklu NEDC

*EUDC* - mimoměstská část cyklu NEDC

$E/E$  - Electric/Engine – hybridní pohon vyvinutý na ZČU

*EHK/OSN* – normy dle kterých jsou prováděny homologace ECE

*EHR10* - Electric Hot Rod verze 1.0 *EHS* – Evropské hospodářské společenství

*ES* – Evropské společenství

*EU* – Evropská Unie

*GM* – General Motors – Americký koncern vyrábějící automobily

*GPS* – Global Positioning System – družicový poziční systém

*H4* – typ žárovky pro hlavní světlomet automobilu, obsahuje vlákno pro potkávací i dálková světla

*Homologace ECE* – homologace pro pozemní komunikace – výrobek, který prošel homologací ece je označen Ex (x – číslo)

*Homologace FIA* – homologace pro sportovní použití, v případě homologace většího systému pro pozemní komunikace lze udělit výjimky

*IPxx* – stupeň krytí elektrospotřebiče

*LED* – elektroluminiscenční dioda

*LiAir* – Lithium Kyslík – technologie elektrických článků

*LiFeYPO4* – Lithium Železo Ytrium Polymer 4 – technologie elektrických článků

*MOSFET* - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor – typ výkonových tranzistorů

*NEDC* - New European Driving Cycle – metodika měření spotřeby a množství exhalací,  
která je platná v EU

*PWM* – Puls Weight Modulation – pulzně šířková modulace

*sp* - stálý převod

## E. Použité veličiny

$a$  [ $m/s^2$ ] – zrychlení, metr za sekundu na druhou

$C_x$  [-] – součinitel aerodynamického odporu

$c$  [ $\frac{J}{kg \cdot K}$ ] - měrná tepelná kapacita, joule na kilogram kelvin

$\cos\phi$  [-] – účinník

$e$  [-] – pružnost motoru

$E$  [J] – energie, joule

$F$  [N] – síla, newton

$F_k$  [N] – hnací síla, newton

$F_h$  [N] – sumace jízdních odporů, newton

$f$  [Hz] – frekvence, hertz

$f$  [-] – součinitel valivého odporu

$G$  [N] – tíhová síla, newton

$I$  [A] – proud, ampér

$i$  [-] – převodový poměr

$M$  [N.m] – kroutící moment, newton metr

$m$  [kg] – hmotnost, kilogram

$\dot{m}$  [kg] - hmotnostní průtok, kilogram za sekundu

$n$  [1/s] – otáčky, počet za sekundu

$\eta$  [-] – účinnost

$O_v$  [N] – aerodynamická odporová síla, newton

$O_f$  [N] – valivý odpor, newton

$O_s$  [N] – odpor sklonu, newton

$\rho$  [N/N] – měrná hnací síla, newton/newton

$P$  [W] – výkon, watt

$P_k$  [W] – výkon na hnacích kolech, watt

$P_{sm}$  [W] – požadovaný výkon motoru, watt

$P_{sp}$  [W/s] – spotřebovaný výkon, watt za sekundu

$\dot{Q}$  [W] - měrné teplo, watt

$s$  [%] – stoupavost vozidla, procenta

$S$  [m<sup>2</sup>] – plocha, metr čtvereční

$t$  [s] – čas, sekunda

$T$  [K, °C] - teplota, Kelvin, celsiův stupeň

$U$  [V] – napětí, volt

$v$  [m/s] – rychlost, metr za sekundu

$V$  [m<sup>3</sup>] - objem, metr krychlový

$W$  [J] – práce, joule

$\epsilon$  [-] - kompresní poměr

# 1.Úvod

Vytvoření ekonomicky dostupného a energeticky provozně nenáročného vozidla je v současné době základním cílem projektování a konstruování dopravních prostředků určených pro individuální přepravu osob. Tento cíl je sám o sobě řešen a rozvíjen již od počátků sestavení „pradědečka automobilu“, kdy vzniklo několik konstrukčních filosofí pro vytvoření automobilu - šlo o dobově nazývané výbušné motory, parní stroje a elektromobily. Vzhledem k vývoji se na dlouhá léta staly spalovací motory pilířem individuální přepravy osob. Elektromobily byly využívány ke specifickým úkolům v individuální přepravě osob a s pravidelnou periodou byla na odborných konferencích přednášena myšlenka rozvíjející myšlenku elektromobilu jako automobilu budoucnosti, parní stroj pro svoji komplikovanost a údržbovou náročnost byl postupem času z boje o místo na výsluní vytlačen.

V současné době, kdy technologický rozvoj již umožňuje přibližovat dojezd elektromobilů na jedno nabití palubní trakční baterie dojezdu automobilům se spalovacím motorem na jednu nádrž paliva, stává se elektromobilita znovu aktuálním tématem diskusí odborné i laické veřejnosti. Současná technologie trakčních článků již umožňuje jejich praktické využití v běžném denním provozu. Problémem však stále zůstává přenosová kapacita přenosové soustavy a produkční výkon elektráren. V případě masivního rozšíření elektromobilů není v současné době možno tato vozidla zásobovat energií potřebnou pro dobítí jejich trakčních palubních trakčních baterií bez kolapsu elektráren a přenosových sítí - Blackoutu .

Vzhledem k výše uvedenému důvodu, který ohrožuje rozvoj elektromobily a také k nezanedbatelné ceně trakčních baterií se na výsluní zájmu automobilového průmyslu dostává kombinace pohonu elektrického a spalovacího motoru - tedy pohon hybridní. V dnešní době jsou v nabídkách automobilových společností sériové hybridní pohony (velmi často jsou používány v autobusech, u osobních vozidel např. Toyota Prius) a paralelní hybridní pohony - kombinace sériového a paralelního hybridu je pak velmi často označována jako smíšený hybrid resp. duální hybrid.

Kromě vozidel s plně hybridním pohonem je v dnešní době běžné osazovat vozidla systémy jejichž úkolem je snížit spotřebu vozidla. Tyto systémy pracují zpravidla na dvou základních principech. Prvním principem je vypínání motoru při krátkodobém zastavení vozidla - zde mluvíme o tzv. start/stop systému. Druhým principem je rekuperační systém kinetické energie, který ukládá kinetickou energii při brzdění vozidla do mechanického nebo elektrického úložiště. Takto uložená kinetická energie vozidla je následně využita při další akceleraci vozidla.

Výše uvedené směřování automobilového průmyslu tak přináší jednoznačné požadavky na vytvoření nové generace automobilů, která bude respektovat všechna základní požadovaná kritéria:

- design for cost - automobil musí být **relativně** co nejlevnější, aby byl schopen uspět - zde vstupuje do popředí zájmů "baťovské" tvrzení: "výrobek musí být tak špatný, aby byl ještě dobrý"
- vozidlo musí mít nízké provozní náklady - zde nejde jen o přímé náklady na provoz vozidla, ale také náklady vyvolané servisními zásahy, v neposlední řadě pojištění, mýta atd.
- vozidlo musí být ekologické nikoli jen "ekologické" - vozidlo musí splňovat veškeré legislativní požadavky a samozřejmě musí být vozidlo i šetrné k přírodě - je však nutné si uvědomit, že vozidlo musí být k přírodě **skutečně** šetrné a nejen šetrné tak, aby vyhovovalo "ekologickým požadavkům", jejichž cílem jsou mnohdy jiné zájmy než ochrana životního prostředí<sup>123</sup>
- vozidlo musí být bezpečné v maximální dosažitelné míře recyklovatelné

---

<sup>1</sup> Novinky.cz, *pst, Pád ekologické modly: větrné elektrárny vyvolávají změnu klimatu*, www.novinky.cz, 3.5.2012, <http://www.novinky.cz/veda-skoly/266629-pad-ekologicke-modly-vetrne-elektrarny-vyvolavaji-zmenu-klimatu.html> 3.5.2012

<sup>2</sup> Dohnal R., *Tmavé střechy vytvářejí tepelné ostrovy*, www.ekobydleni.eu, 13.3.2012, <http://www.ekobydleni.eu/domy/tmave-strechy-vytvareji-tepelne-ostrovy>

<sup>3</sup> "V Evropě, kde se biopaliva získávají pomocí těžké mechanizace, se stává, že na 1,0 litru bionafty je nutné spotřebovat až 1,1 l běžné nafty." - Cílek V., Kašík M., *Nejistý plamen*, Dokořán, Praha 2007, str.29



- vozidlo musí být vyráběno z recyklovatelných materiálů v maximální možné míře<sup>4</sup>
- vozidlo musí být provozně co nejméně energeticky náročné

*pozn.*

*Žádnou z výše uvedených základních kritérií nového vozidla nelze vyhodnotit jako nejdůležitější.*

*Všechny požadované základní kritéria nové generace vozidel je nutno brát jako **rovnocenné**.*

## 1.2. Cíle disertační práce

Na základě výše specifikovaných základních kritérií pro vznik nového vozidla a na základě poznatků získaných studiem vývoje konstrukčních směrů, které se zabývají vývojem vozidel s nízkou energetickou náročností provozu byly stanoveny následující základní cíle řešené disertační práce:

1. Realizovat sběr dat a analýzu provozu konvenčního vozidla se spalovacím motorem.
2. Provést sběr dat a analýzu provozu na elektromobilu EHR 10.
3. Získat dostatečné informace o provozu běžných osobních vozidel.
4. Na základě získaných dat vytvořit systémový návrh vozidla pro denní použití s důrazem na jeho příznivý vztah k životnímu prostředí a nízkou spotřebu energie potřebné k pohonu vozidla a udržení uživatelského komfortu.

## 1.3. Podněty ke vzniku disertační práce

Vytvoření této disertační práce je logickým vyústěním mého celoživotního koníčka - stavby a renovace motocyklů a automobilů, který jsem ještě rozšířil o znalostní základnu nabytou studiem Fakulty elektrotechnické a Fakulty strojní na Západočeské univerzitě v Plzni.

---

<sup>4</sup> Bez vraků o.s., *Udržitelný rozvoj*, www.bez vraků.cz, r.2009,  
<http://www.bezvraku.cz/index.php?str=udrzitelnyRozvoj&menu=infoObcan&s=1>

- **aplikace znalostí a zkušeností získaných celoživotním koníčkem a zájmem o problematiku projektování, konstrukce, montáže a provozu silničních dopravních prostředků**

Během mého působení v doktorandském studijním programu, při zpracovávání rámcového disertačního tématu "Komplexní hodnocení energetické náročnosti komponent pro dopravní a manipulační techniku" mi bylo umožněno být systémovým projektatem a členem realizačního týmu elektromobilu EHR 10. Zkušenosti získané při návrhu, stavbě a provozu tohoto elektromobilu rozhodly o dalším směřování mé disertační práce směrem k hybridnímu pohonu E/E, kde jsem si vytyčil cíl nejen využít všechny kladné vlastnosti elektromobilu EHR 10, ale vhodným způsobem řešení eliminovat i jeho nedostatky.

- **aplikace praktických znalostí a zkušeností získaných při stavbě a provozu elektromobilu EHR 10**

Samotný hybridní pohon E/E jsem se rozhodl pro účely disertační práce implementovat do vozidla s identickými tvary vozidla Škoda Fabia I. generace z následujících důvodů:

1. Jde o velmi rozšířené a veřejnosti známé vozidlo.
2. Vozidlo je v českých očích velmi často etalonem malého vozidla pro denní použití.
3. Existuje dostatek výpočtových parametrů vyplývajících z tvarů vozidla (např. součinitel  $c_x$ ).
4. Získané výsledky je možno srovnávat s mnoha variantami vozidla - výhodné pro další vývoj pohonu.

Koncepci hybridního pohonu E/E jsem se rozhodl směřovat k potřebám, které vyplývají ze zkušeností mých blízkých a vlastních zkušeností s řízením motorových vozidel. Hybridní pohon E/E je tedy koncipován jako modulární pohon, který umožňuje pohon spalovacím motorem, pohon v režimu elektromobilu, sériový mód funkce a v neposlední řadě, po omezenou dobu, je schopen funkce v módu 4x4, což je zvláště výhodné při provozu mimo zpevněné komunikace (výlety za aktivně tráveným časem v

přírodě, chalupaření atd.) a při náhlých výkyvech počasí (sněhová kalamita atd.). Zároveň tento provozní mód umožňuje zvýšení dynamiky vozidla, která je v dnešním silničním provozu mnohdy v zájmu bezpečnosti nezbytná.

- **vytvoření hybridního pohonu bez zbytečných kompromisů**

## 2. Analýza vozidla Peugeot 106 1.0

Pro přípravu a verifikaci analytického výpočtového modelu spotřeby z vnějších charakteristik vozidel a pro získání dat týkajících se energetické náročnosti provozu motorového vozidla se spalovacím motorem bylo vybráno vozidlo Peugeot 106 s motorem 1.0. Jde o vozidlo, které je v sériovém stavu, je vybaveno pětidveřovou karosérií a v době měření mělo najeto 120 - 150 tis. kilometrů. Testované vozidlo je modelový rok 1998, konkrétně verze VF31ACDYE.



obr. 2-1 Peugeot 106 1.0 verze VF31ACDYE <sup>5</sup>

Toto vozidlo bylo zvoleno s ohledem na ideové směřování práce na městské a příměstské vozidlo, které je využíváno ke každodenním cestám do práce, za nákupy a za zábavou. Výhodou této volby byla možnost porovnání i s produkčním elektromobilem (viz kapitola 3.), který byl na základě vozidla Peugeot 106 vyráběn.

Na vozidle Peugeot 106 se spalovacím motorem byla provedena výpočetní analýza vnějších parametrů a spotřeby vozidla. Následně byla provedena měření týkající se spotřeby, průměrné rychlosti, udržitelné cestovní rychlosti a celkového chování vozidla v různých režimech dnešního silničního provozu - výsledky těchto měření jsou uvedeny v kapitole 2.3. Praktická část analýzy vozidla Peugeot 106 1.0.

---

<sup>5</sup> <http://www.imcdb.org>

Během těchto měření byl kladen důraz nejen na chování vozu při běžném silničním provozu, ale zároveň byl simulován i jízdní cyklus, který svými dynamickými parametry odpovídá dynamickým požadavkům jízdy, které jsou definovány v cyklu NEDC - viz. Příloha 1. Dalším simulovaným jízdním způsobem byl jízdní cyklus, který si kladl za úkol dosáhnout minimální spotřeby pohonných hmot.

## 2.1. Parametry vozidla Peugeot 106 1.0

Během analytického výpočtu vnějších charakteristik vozidla Peugeot 106 1.0 bylo vycházeno z následujících technických dat, které byly převzaty z technického průkazu řešeného vozidla, z informací poskytnutých plzeňským zastoupením firmy Peugeot - firmou IC-WEST s.r.o. a z naměřených otáčkových charakteristik řešeného vozidla, které jsou uvedeny v grafu 2-A naměřené hodnoty výkonu a točivého momentu vozidla Peugeot 106 1.0. Měření otáčkových charakteristik řešeného vozidla bylo realizováno firmou Camp Performance při následujících podmínkách okolního prostředí: teplota vzduchu 15°C, atmosférický tlak 101 195 Pa, vlhkost vzduchu 55% - uvedené veličiny byly změřeny vstupními čidly zkušebního zařízení - automobilové brzdy. Vnější otáčkové charakteristiky vozidla uvedené v grafu 2-A byly měřeny na vozidle s teplotou chladicí kapaliny cca 90 °C - vozidlo mělo před měřením ujeto cca 110 km na trase Plzeň - Praha Zbraslav při mimo dálničním tempu. Hodnoty naměřené při uvedeném měření byly do výpočtového modelu v SW MS Excel převedeny v podobě, která je uvedena v grafu 2-B aproximované hodnoty vnějších otáčkových charakteristik pro analytický výpočet vnějších charakteristik vozidla.

### Technická data analyzovaného vozidla<sup>6</sup>

<b>Délka</b>	3678 mm
<b>Šířka</b>	1594 mm
<b>Výška</b>	1383 mm
<b>Rozvor</b>	2380 mm

<sup>6</sup> velký technický průkaz Peugeot 106 1.0 verze VF31ACDYE - datový list výrobce

<b>Čelní plocha</b>	1,81 m <sup>2</sup>
<b>cx</b>	0,34
<b>Pohotovostní hmotnost</b>	965 kg
<b>Zatížení</b>	190 kg
<b>Emisní standard</b>	Euro 2
<b>Produkce CO2</b>	145 g/km
<b>Maximální rychlost</b>	150 km/h
<b>Akcelerace 0-100 km/h</b>	19,2 s
<b>Obsah motoru</b>	948ccm
<b>Kompresní poměr motoru</b>	9,4
<b>Maximální výkon motoru</b>	36kW@5876 ot/min
<b>Maximální točivý moment motoru</b>	7859Nm@3430 ot/min
<b>Deklarovaná spotřeba</b>	
<b>Město</b>	8,1 l/100km
<b>Mimo město</b>	5,1 l/100km
<b>Kombinace</b>	6,2 l/100km
<b>Rozměr pneumatik</b>	145/70R13

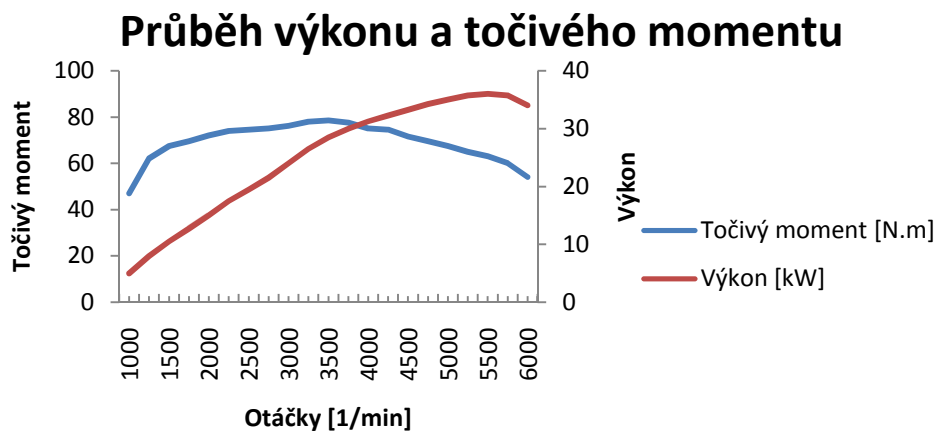
### Parametry převodovky

<b>SP</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
3,93	3,42	1,95	1,36	1,05	0,85

## Graf měření výkonu



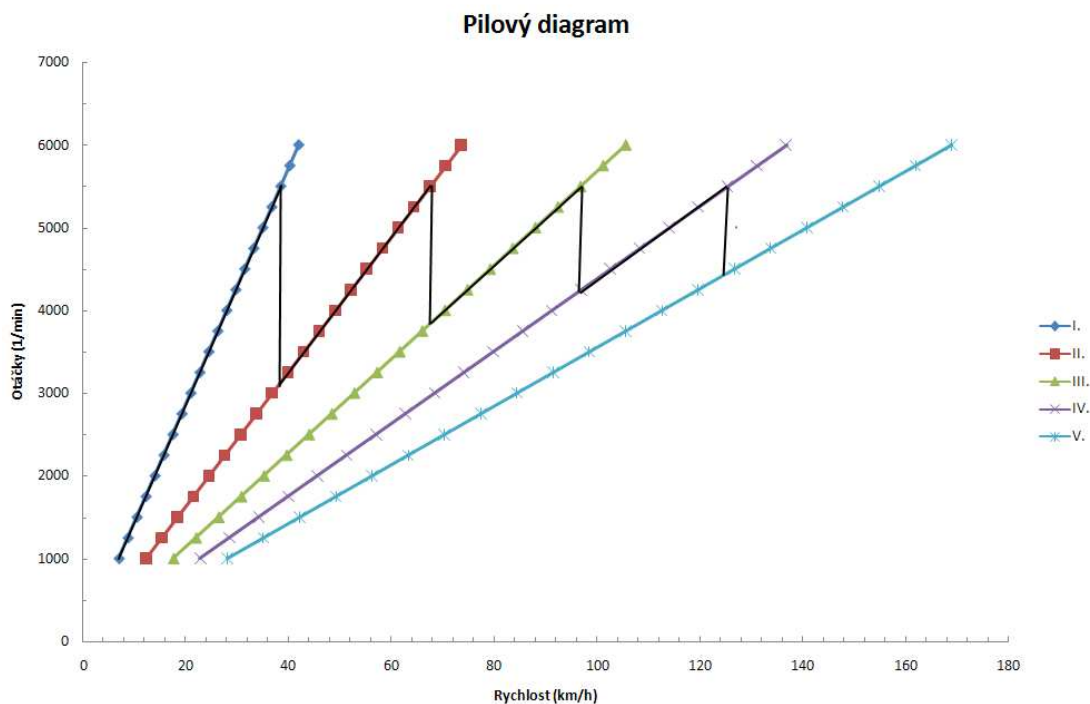
graf 2-A naměřené hodnoty výkonu a točivého momentu vozidla Peugeot 106 1.0



graf 2-B aproximované hodnoty vnějších otáčkových charakteristik pro analytický výpočet vnějších charakteristik vozidla

## 2.2. Výsledky výpočtu vnějších charakteristik vozidla

### 2.2.1. Pilový diagram



graf 2-C pilový diagram vozidla Peugeot 106 1.0

Na pilovém diagramu (graf 2-C) je uvedeno schéma řazení progresivně skládaných rychlostních stupňů při řazení vyššího rychlostního stupně ve fázi dosažení otáček motoru, které odpovídají maximálnímu výkonu motoru. Tento způsob řazení odpovídá ofenzivnímu způsobu jízdy, který je používám zejména při maximálně dynamické jízdě, kterou dané vozidlo umožňuje<sup>7</sup>. Dalším možným využitím tohoto schématu řazení je pohyb vozidla maximálně členitým terénem. Při provozu vozidla v běžném silničním provozu je zpravidla používáno takové schéma řazení, při kterém je vyšší rychlostní stupeň řazen tak, aby po přeřazení bylo dosaženo otáček motoru, které se nachází v oblasti maximálního točivého momentu<sup>8</sup>. Tento způsob řazení je výhodný z hlediska ekonomiky provozu při standardním využívání dynamického potenciálu vozidla. Nejčastějším způsobem řazení je však řazení, které je možno nazvat ekonomickým - tedy vozidlo je udržováno v otáčkách, které se nachází v oblasti stoupání točivého momentu k maximu, řazení tedy probíhá při dosažení maximálního

<sup>7</sup> Driving fast team, *Guide to driving techniques*, [www.drivingfast.net](http://www.drivingfast.net)

<sup>8</sup> Janek D., *Umění řídit*, Computer Press Brno, r.2010, 4. vydání, ISBN 978-80-251-2754-4, s.46



točivého momentu na daný rychlostní stupeň<sup>9</sup>. Uvedená tři schémata řazení u analyzovaného vozidla jsou uvedeny v tabulce 2-I rozhodovací tabulka řazení vozidla Peugeot 106 1.0.

rychlostní stupeň	I	II	III	IV	V
řazení z max. momentu	25 km/h	42,5 km/h	57,5 km/h	80km/h	-
řazení na max. moment	37,5 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	-
řazení z max. výkonu	37,5 km/h	65 km/h	95 km/h	125 km/h	-

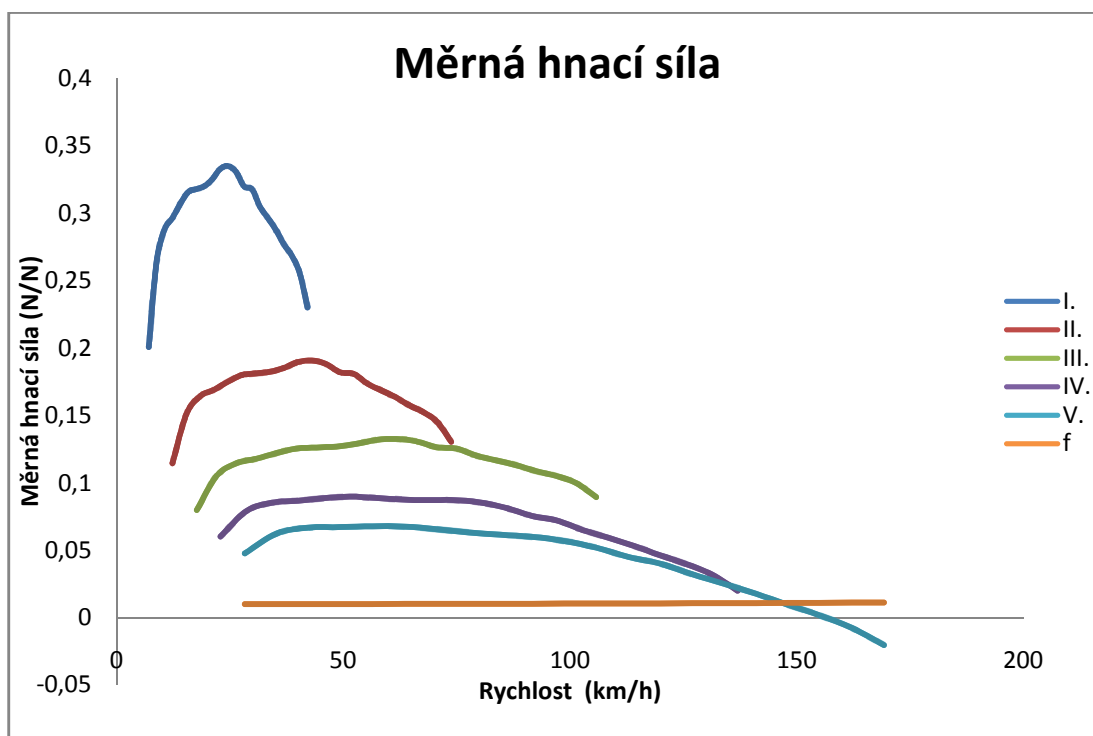
(pozn. při podřazování je nutno řadit na uvedené rychlostní stupně inverzně)

tabulka 2-I rozhodovací tabulka řazení vozidla Peugeot 106 1.0

Jak je z grafu 2-C a tabulky 2-I patrné, pro vozidlo Peugeot 106 je typický "krátký" I. rychlostní stupeň, což odpovídá progresivně skládané převodovce. Toto řešení složení převodovky spolu s relativně těžkým stálým převodem u řešeného vozidla přináší skutečnost, kdy při jakémkoli dynamickém rozjezdu je nutno využít maximálního výkonu motoru vozidla, což se v městském provozu projevuje spotřebou, která je, vzhledem k velikosti a určení vozidla, značně vysoká (výrobce deklaruje 8,1 l/100km dle NEDC, v praxi je však mnohdy dosahováno i spotřeby, která atakuje i hranici 10 l/100km).

<sup>9</sup> Horníček J., *Jak jezdit s nižší spotřebou*, Computer Press Praha, r. 2000, ISBN 80-7226-412-5

## 2.2.2. Určení maximální stoupavosti vozidla



graf 2-D Zobrazení měrné hnací síly jednotlivých rychlostních stupňů vozidla Peugeot 106 1.0

I.	33 %
II.	18 %
III.	12 %
IV.	8,6 %
V.	6,7 %

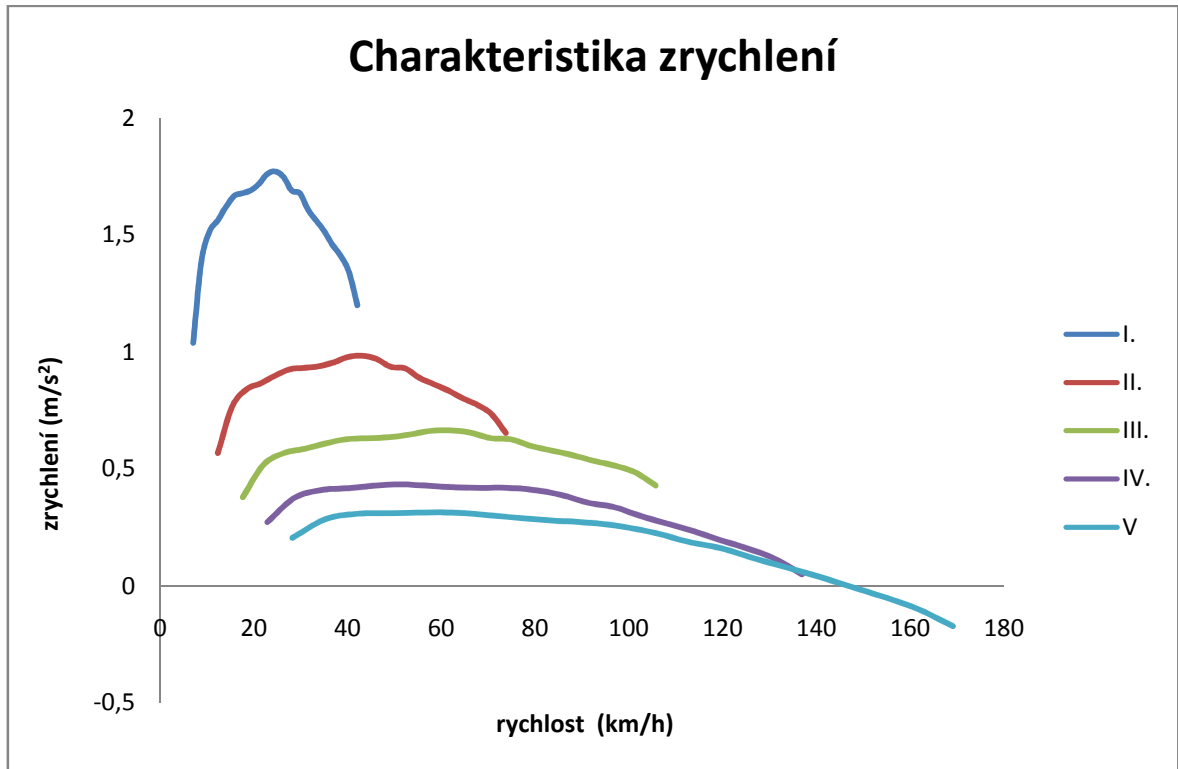
tabulka 2-II určení maximálních stoupavostí vozidla Peugeot 106 1.0 pro jednotlivé rychlostní stupně

Maximální stoupavost vozidla, dle výpočtového zatížení, je plně v souladu s požadavkem minimální maximální stoupavosti 30 %, který je definován normou EHS/ES 97/27<sup>10</sup>. Z grafu měrné hnací síly (2-D) je patrný trend rychle klesající stoupavosti vozidla v závislosti na zařazeném rychlostním stupni. Tento trend je způsoben poměrně malým výkonem motoru vozidla, který po přepočítání na výpočtovou hmotnost vozidla

<sup>10</sup> First J. a kol.: *Zkoušení automobilů a motocyklů – příručka pro konstruktéry*, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravní techniky, ISBN: 078-80-254-1805-6

činí 23,1 kg/kW. Malý měrný výkon vozidla je také jedním z hlavních důvodů poměrně vysoké spotřeby pohonných hmot vozidlem.

### 2.2.3. Určení zrychlení vozidla a pružnosti pohonné jednotky vozidla



graf 2-E Graf charakteristiky zrychlení vozidla Peugeot 106 1.0

I.	1,77 m/s <sup>2</sup>
II.	0,98 m/s <sup>2</sup>
III.	0,67 m/s <sup>2</sup>
IV.	0,43 m/s <sup>2</sup>
V.	0,31 m/s <sup>2</sup>

tabulka 2-III Maximální dosažená zrychlení vozidla Peugeot 106 1.0 na jednotlivé rychlostní stupně

## Vyhodnocení pružnosti pohonné jednotky vozidla Peugeot 106 1.0

momentová pružnost: 
$$e_M = \frac{M^M - M^P}{M^P} = 0,246$$

otáčková pružnost: 
$$e_n = \frac{n^P}{n^M} = 1,57$$

celková pružnost: 
$$e_c = e_M \cdot e_n = 0,39$$

### 2.2.4. Teoretický výpočet spotřeby vozidla Peugeot 106 1.0 dle metodiky NEDC

Pomocí získaných výsledků analýzy vnějších charakteristik vozidla Peugeot 106 1.0 (kapitoly 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3.) a parametrický tabulek cyklů ECE, EUDC a NEDC (viz. Příloha 1) byla vypočítána spotřeba pohonných hmot analyzovaného vozidla. Uvedená spotřeba pohonných hmot nebyla počítána dle metodiky stanovené normou EHK 101<sup>11</sup>, ale při výpočtu bylo použita data získaná analytickým výpočtem vnějších charakteristik vozidla. Vztahová základna a matematický postup výpočtu spotřeby pohonných hmot je uveden v příloze 4.

#### Vypočítaná spotřeba v jednotlivých fázích provozu

spotřeba město	10,11 l/100km
spotřeba mimo město	5,54 l/100km
kombinovaná spotřeba	7,2 l/100km

## 2.3 Praktická část analýzy vozidla Peugeot 106 1.0

Během analýzy vozidla Peugeot 106 1.0 bylo najeto s vozidlem 2350 km - viz tabulka 2-IV. Měření probíhalo metodou dojezdové zkoušky, kdy bylo využíváno tankování plné nádrže a měření pomocí denního počítadla ujetých kilometrů (tento způsob měření průměrné spotřeby vozidla je umožněn standardy EHS/ES 1999/100,

---

<sup>11</sup> First J. a kol.: *Zkoušení automobilů a motocyklů – příručka pro konstruktéry*, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravní techniky, ISBN: 078-80-254-1805-6, kap. 12.4.2.

EHS/ES 93/116, EHS/ES 80/1268)<sup>10</sup>. Během měření odpovídala hmotnost vozidla normativním požadavkům - tzn. při plném natankování palivové nádrže bylo vozidlo zatíženo pohotovostní hmotností + 190 kg hmotností posádky a batožiny.

datum	počet l	cena za l (kč)	Výsledná cena(kč)	km	spotřeba (l/100km)	cena provozu (kč/km)
15.10.2011	33,00	34,50	1138,50	419,8	7,86	2,71
15.10.2011	17,77	34,50	613,07	316,4	5,62	1,94
16.10.2011	6,69	34,50	230,81	164,0	4,08	1,41
31.10.2011	31,19	33,40	1041,75	434,1	7,18	2,40
18.11.2011	22,84	34,90	797,12	316,7	7,21	2,52
18.11.2011	13,98	34,90	487,90	214,5	6,52	2,27
15.12.2011	38,44	32,70	1256,99	484,5	7,93	2,59
<b>sumace</b>	163,91		5566,12	2350,0	6,63	2,26

tabulka 2-IV zobrazení tankování, spotřeby a nákladů na kilometr jízdy v palivu pro vozidlo Peugeot 106 1.0

#### **Legenda tabulky 2-IV**

*Řádky s bílým pozadím simulují spotřebu při běžném způsobu denním jízdy a použití dané kategorie vozidla (zejména městský a příměstský provoz), který je velmi podobný svojí definicí definici měření spotřeby dle cyklu NEDC. Žlutě a červeně podbarvené řádky potom odpovídají dálkovému provozu, který byl snímán pomocí GPS loggeru a byl vytvořen protokol záznamu z jízdy - viz příloha č.2, příloha č.3 .*

Měření trasy v tabulce 2-IV označené žlutým podbarvením bylo provedeno na testovacím okruhu Plzeň - Písek - České Budějovice - Tábor - Milevsko - Plzeň, kdy bylo cílem dosáhnout vysoké průměrné jízdní rychlosti mezích dopravních předpisů. Kompletní protokol měření, vytvořený pomocí softwaru UTRACK je umístěn v příloze 2.

Měření trasy v tabulce 2-IV označené červeným podbarvením bylo provedeno na testovacím okruhu Plzeň - Horšovský Týn - Klenčí pod Čerchovem - Trhanov - Babylon - Domažlice - Klatovy - Plzeň. Při této jízdě bylo maximálně dbáno zásad úsporné jízdy, které jsou specifikovány v knize "Jak jezdit s nižší spotřebou" - Jan Horníček [16]. Kompletní protokol měření je vytvořen pomocí softwaru UTRACK a je umístěn v příloze 3.

## 2.4. Souhrn analýzy vozidla Peugeot 106 1.0

Byla provedena komplexní analýza vnějších parametrů vozidla Peugeot 106 1.0 verze VF31ACDYE. Byly vypočteny vnější charakteristiky vozidla a dle průběhů cyklů ECE, EUDC, NEDC byl proveden výpočet spotřeby vozidla, který využívá data získaná analytickým výpočtem vnějších charakteristik vozidla.

Tento výpočet byl verifikován srovnáním s měřením spotřeby vozidla v reálném provozu pomocí metody dojezdové zkoušky. Při srovnání všech tří metod získání hodnot spotřeby pohonných hmot vozidlem (metoda dojezdové zkoušky, metoda stanovená standardem EHK 101 a výpočtové metody využívající data získaná analytickým výpočtem vnějších charakteristik vozidla), vychází neoptimističtěji spotřeba deklarovaná pomocí standardu EHK 101, zatímco vypočítaná spotřeba dle vnějších charakteristik vozidla se více blíží spotřebě, která byla při provozu vozidla změřena metodou dojezdové zkoušky. Pravdivost vypočtených a naměřených hodnot spotřeby pohonných hmot potvrzují i praktické zkušenosti řidičů a odborníků<sup>1213</sup>, kteří při provozu vozidla zpravidla dosahují vyšších spotřeb, než jaké deklarují výrobci v dokumentaci vozidel dle standardu EHK 101. Tento fakt je nejvíce patrný v městském provozu, kdy vypočítaná spotřeba dle vnějších charakteristik vozidla překonává deklarovanou městskou spotřebu o cca 25% tedy o 2 l/100km, nejmenší rozdíl je potom dosažen v cyklu EUDC, kdy je rozdíl 8,6%, tedy 0,44 l/100km, nižší odchylka naměřených a vypočtených hodnot je dána velkým podílem provozu vozidla ustálenou rychlostí v tomto cyklu. Tento stav lze osvětlit nejen chybou výpočtu (zaokrouhlování, případně nízká vzorkovací frekvence dynamických částí výpočtu a zjednodušení okrajových podmínek výpočtu pro možnou analytickou realizaci výpočtu), ale i "modelovostí" cyklu ECE, který nastává ve skutečnosti ve velmi vzácných případech. V běžném provozu se kombinovaná spotřeba pohonných hmot přibližuje spíše ke kombinovanému provozu dle standardu EHK 101 i dle výpočtu vycházejícího z vnějších charakteristik vozidla. Je-li provedeno srovnání číselných hodnot: EHK 101: 6,1

<sup>12</sup> redakce Auto plus, *Test reálné spotřeby 152 automobilů*, časopis Auto plus, číslo 1161, vydáno: 7.12.2010

<sup>13</sup> Dragoun A., *EU plánuje realističtější měření spotřeby*, www.auto.cz, 14.6.2012, <http://www.auto.cz/eu-planuje-realistictejsi-mereni-spotreby-67554>

l/100km; výpočet vycházející z vnějších charakteristik vozidla: 7,2 l/100km; reálné měření při ujeté vzdálenosti 2350km: 6,63 l/100km, potom mezi výpočtovými metodami je 18%, tedy 1,1 l/100km, zatímco rozdíl naměřené spotřeby je o 8,6 procenta vyšší proti spotřebě dle metodiky EHK 101 a o 8,6 % nižší proti spotřebě vypočtené z vnějších charakteristik vozidla.

Vzhledem k dosaženým výsledkům lze konstatovat, že dojezdovou zkouškou změřená kombinovaná spotřeba je v toleranci do 10% od vypočtených hodnot oběma výpočtovými metodami, což pro další účely této práce staví obě metodiky výpočtu spotřeby paliva do rovnocenné pozice.

### 3. Informace o vozidle Peugeot 106 electric

Vzhledem k analýze vozidla Peugeot 106 1.0 a zaměření práce na energetickou náročnost provozu vozidel je vhodné uvést i "elektrické dvojče" analyzovaného vozidla Peugeot 106, tedy Peugeot 106 Electric, či jeho koncernové dvojče Citroen Saxo electric.

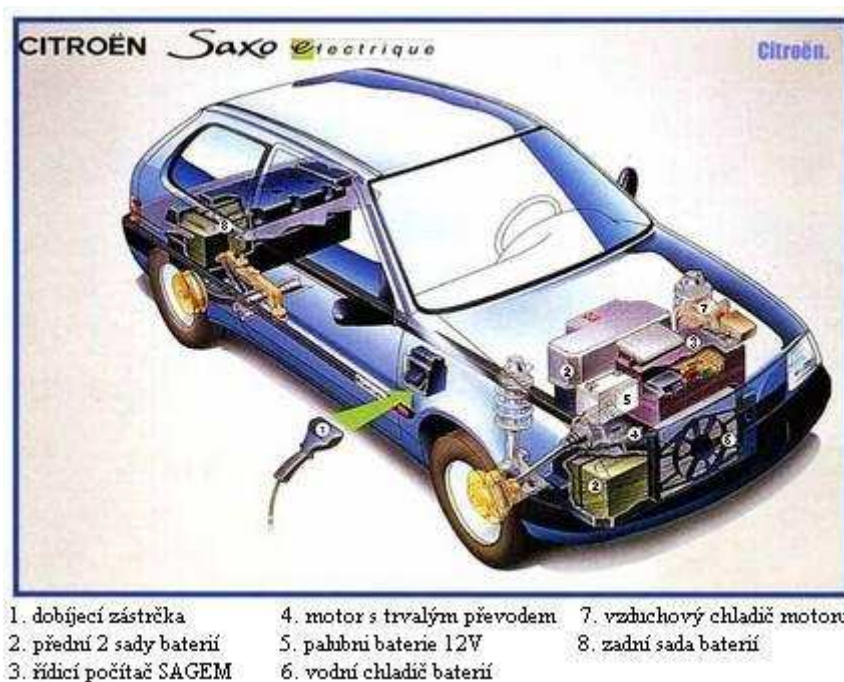
Koncepce elektromobilu odpovídá době jeho vzniku - v polovině 90. let 20. století - jde o konverzi vozidla se spalovacím motorem na elektromobil. Pohonná jednotka (obr.3-2) byla zkonstruována firmou Leroy Sommer přímo pro potřeby automobilového koncernu PSA - jde o jednotku bez převodovky se stálým převodem 10,42:1\*. Dle informací výrobce je energetická náročnost provozu elektromobilu uváděna mezi 12 - 16 kWh/100 km, což zhruba odpovídá spotřebě 1,14 - 1,52 l benzínu na 100 km.

Uvážíme-li však mechanickou účinnost spalovacího motoru 30%, potom uvedená spotřeba odpovídá spotřebě vozidla se spalovacím motorem a spotřebou 3,8 - 5,1 l benzínu na 100 km, což jsou příznivé hodnoty v daném segmentu i v případě dosažení těchto hodnot spalovacím motorem.

Může být tedy zkonstatováno, že při teoretickém srovnání využití energie k pohybu bez odpadního tepla spalovacího motoru je dle metodiky EHK 101 Peugeot 106 electric minimálně o 22% energeticky výhodnějším vozem.

*Poznámka : \* převod byl stanoven pomocí přepočtu počet otáček kola při maximální rychlosti k otáčkám motoru*





obr. 3-1 rozložení elektrovýzbroje ve vozidle Citroen Saxo/ Peugeot 106 electric<sup>14</sup>



obr. 3-2 Pohonná jednotka se stálým převodem od firmy Leroy Sommer<sup>13</sup>

Technické údaje vozidla Peugeot 106 Electric<sup>15</sup>

<b>Motor</b>	Stejnoseměrný, vzduchem chlazený
<b>Výkon</b>	11kW jmenovitý, 20 kW špičkový
<b>Palubní napětí</b>	120V/ 100 Ah + 12V baterie pomocných pohonů
<b>Baterie</b>	20x Saft STM-5MRE NiCad 6V/100 Ah
<b>Maximální rychlost</b>	91 km/h
<b>Akcelerace</b>	0-50 km/h za 8,3 s

<sup>14</sup> společnost Electroauto, *Elektromobily Peugeot 106 a Citroen SAXO*, www.electroauto, r.2005  
<http://www.electroauto.cz>

<sup>15</sup> Pfeiffer H., *Peugeot 106 Electrique*, www.emission-zero.de, poslední aktualizace 5.5.2012,  
<http://www.emission-zero.de>

---

<b>Spotřeba</b>	12-16 kWh/100km
<b>Dojezd</b>	75 - 120 km
<b>Nabíječka</b>	Sagem 3,3 kW
<b>Dobíjecí cyklus</b>	4h - 80%; 7h - 100%
<b>Rozměry</b>	3 718 x 1 595 x 1 390 mm
<b>poloměr otáčení</b>	5 550 mm
<b>Hmotnost bez baterie</b>	1 095 kg
<b>Hmotnost s baterií</b>	1 400 kg
<b>Hnaná náprava</b>	přední
<b>Brzdy</b>	kapalinové + rekuperační systém
<b>Pneumatiky</b>	165/70 R13

### 3.1. Srovnání vozidel Peugeot 106 v benzínové a elektrické verzi

Při prvním srovnání parametrů obou vozidel je patrné efektivnější využití pohonné energie elektromobilem, který potřebuje na ujetí 100 km 12 - 16 kWh elektrické energie, což odpovídá cca 1,4 - 1,8 l/100 km. Této nízké energetické náročnosti provozu je však dosaženo za určitých omezení. Prvním, z hlediska komfortu posádky vozidla nejzásadnějším omezením, je absence vytápění kabiny - toto omezení lze vyřešit nezávislým benzínovým topením. Druhým významným omezením je zkrácení akčního rádiu elektrické verze vozidla na cca 1/6 akčního rádiu verze se spalovacím motorem.

Srovnání elektrické a spalovací verze vozidla Peugeot 106 odhaluje základní nedostatky konverze vozidla se spalovacím motorem na elektromobil. Při této konverzi je splněna prvotní snaha o pohon elektrickou energií, která je však vykoupena minimálním dojezdem vozidla, dále také snížením užité hodnoty vozidla o nutnosti doplnění o nezávislé topení a absenci úložného prostoru, který je zpravidla zaplněn trakční baterií.

Z hlediska mechanického jsou potom jednotlivé díly podvozkové skupiny více namáhány, neboť běžná hmotnost olovené trakční baterie požadovaných parametrů

dosahuje nezřídka i 500 kg<sup>16</sup>, které u daného vozidla činní cca 50 % pohotovostní hmotnosti benzínového ekvivalentu.

Ze získaných poznatků tedy vyplývá nutnost respektovat elektromobil jako unikátní vozidlo, které má svá konstrukční a projekční specifika, která musí být bezesbytku akceptována a plně v projekčním a konstrukčním návrhu splněna.

Získané poznatky ze srovnání vozidel Peugeot 106 1.0 a Peugeot 106 Electric byly formulovány v konstrukční filosofii "Electric vehicle first"<sup>17</sup> a následně byly aplikovány při projekčním návrhu, konstrukčním návrhu a realizaci vozidla EHR 10 - viz kapitola 4.

---

<sup>16</sup> Kleisner P. *Akumulátory pro elektromobil Hot Rod verze 1.0*, projekční řešení ZČU v Plzni 2010

<sup>17</sup> [28]

## 4. Elektromobil EHR 10<sup>18</sup>

### 4.1. Obecné informace

Elektromobil EHR 10 je prvním českým elektromobilem ve stylu retro, který byl nasazen v běžném provozu. Tento elektromobil byl zkonstruován dle konstrukční filosofie „Electric vehicle first“ s důrazem na maximální zohlednění všech zvláštností konstrukce elektromobilu při zachování uživatelského komfortu a maximální bezpečnosti přepravovaných osob.



obr 4-1 elektromobil EHR 10

Mechanické části vozidla byly zkonstruovány tak, aby vozidlo odpovídalo platné legislativě umožňující vozidlu provoz po silničních komunikacích.

Kabina posádky je tvořena bezpečnostním hliníkovým monokokem, který je doplněn o přední a zadní prostorový rám. Tyto rámy slouží jako deformační zóny a zároveň jako nosiče pohonné technologie. V přední části vozu se v optimalizovaném prostoru nachází trakční baterie a baterie příslušenství, v zadní části se nachází pohonná jednotka s převodovkou a rozvodovkou.

Z hlediska hodnocení energetické náročnosti provozu elektromobilu EHR 10 jsou nejdůležitější vnější mechanické parametry vozu a pohonný uzel, který se skládá

---

<sup>18</sup> Zpracování kapitoly týkající se elektromobilu EHR 10 vychází z [30]

z energetického zdroje, měniče se zadávacím členem, elektromotoru, převodovky a rozvodovky, která přenáší hnací sílu přes kola na vozovku.

#### 4.1.1. Typový list elektromobilu EHR 10<sup>19</sup>

**Kategorie:** M1

##### **Akumulátor**

Typ akumulátoru: LiFeYPO4  
Kapacita: 200Ah  
Napětí: 96V  
Požadavky na nabíjení napětí 100 – 240 V, 50 – 60 Hz, jištěný okruh 16A  
Doba dobíjení: 4 h do nabití 80%  
Počet nabíjecích cyklů: 2 000 (80DOD%), 3 000 (70DOD%)  
Životnost akumulátoru: 8 let nebo 250 000 km

##### **Motor**

Typ: stejnosměrný elektromotor umístěný za zadní nápravou  
Maximální výkon: 21kW stálý výkon, 35kW špičkový  
Maximální proud: 350 A  
Maximální kroutící mom.: 56 N.m na hřídeli motoru

##### **Převodové ústrojí**

4° převodovka s rozvodovkou, 2 hnací hřídele s křížovými klouby

Převodové poměry:

I	3,385
II	2,055
III	1,333
IV	0,896
R	4,275
SP	5,37

##### **Podvozek**

---

<sup>19</sup> Kleisner P., Kutlwašer J., EHR 10, [www.ehotrod.cz](http://ehotrod.cz); [ehotrod.zcu.cz](http://ehotrod.zcu.cz), 31.8.2011, <http://ehotrod.zcu.cz/typ.html>

prostorový rám z hliníkových plechů a profilů

Přední náprava:	lichoběžníková, odpružení vinutými pružinami
Zadní náprava:	lichoběžníková, odpružení vinutými pružinami
Provozní brzdy:	kapalinové bez posilovače
Přední brzdy:	kotoučové s ventilovanými kotouči
Zadní brzdy:	kotoučové
Parkovací brzda:	mechanická na zadní kola
Řízení:	hřebenové řízení
Ráfky kol:	7,00J x 16, ET 25
Pneumatiky:	195/55 R 16 91T Michelin Energy Saver

### **Karosérie**

povrchové panely z kompozitu vyztuženého karbon - aramidovými vlákny  
dvoumístná, zavazadlový prostor za sedadly

Čelní sklo: 2 deflektory z polykarbonátu

### **Rozměry a hmotnosti**

Délka:	4 000 mm
Šířka:	1 695 mm
Výška:	1 105 mm
Světlá výška:	130 mm
Rozvor:	2 700 mm
Hmotnost vozidla v nenaloženém stavu:	650 kg
Pohotovostní hmotnost:	920 kg
Užitečná hmotnost:	250 kg
Objem zavazadlového prostoru:	145 l

### **Jízdní výkony**

Maximální rychlost: 110 km/h

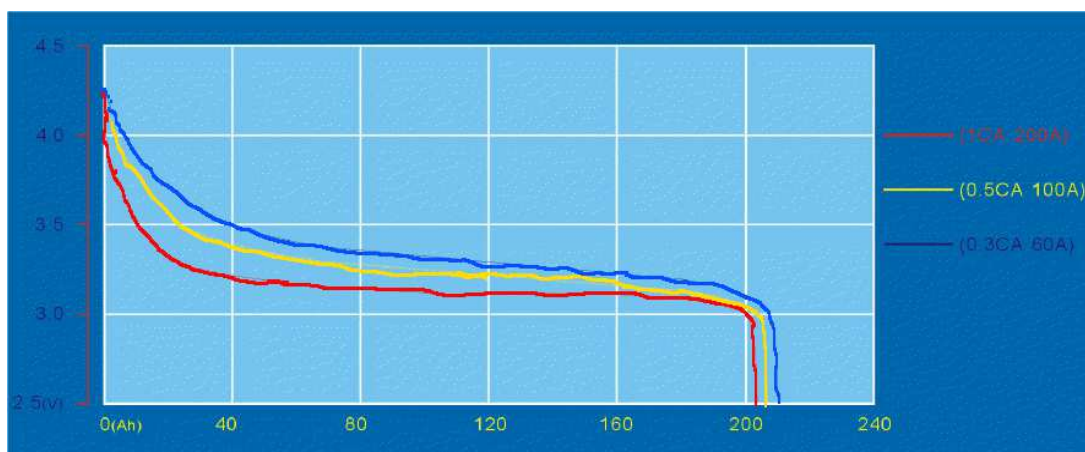
Zrychlení 0 – 60 km/h: 6,7 s

Dojezd: 230 - 250 km při kombinovaném provozu dle NEDC

## 4.2. Technická specifikace elektromobilu EHR 10

### 4.2.1. Baterie

Energetickým zdrojem pohonu elektromobilu EHR 10 je palubní trakční baterie využívající technologii LiFeYPO4 s napětím 96 V a kapacitou 200 Ah. Tato baterie je vyskládána ze 30 kusů článků Thunder Sky TS-LFP200AH, které disponují velmi dobrou vybíjecí charakteristikou viz. obr. 4-2. Výhodou technologie LiFeYPO4 je, krom velmi dobré možnosti proudového zatížení a ploché vybíjecí charakteristiky, nízká hmotnost, která dle výrobce činí 8,32 kg na článek, celková hmotnost baterie tedy činí cca 250 kg.



obr 4-5 vybíjecí charakteristika článku 3.2V 200 Ah při teplotě 25°C<sup>20</sup>

### 4.2.2. Měnič

Elektromobil EHR 10 je vybaven stejnosměrným vzduchem chlazeným měničem, který využívá PWM regulace spínáním MOSFET polovodičových prvků. Zadávání regulačního členu probíhá pomocí akceleračního pedálu přes elektromechanický kontinuální převodník. Jednoduchost a robustnost měniče umožňuje při experimentálním provozu elektromobilu EHR 10 snadnou analýzu dat při minimálních nárocích na měřicí techniku. Zároveň je toto řešení, z hlediska robustnosti,

<sup>20</sup> Sedlák J., *Lithiové články 4.2V - LiFePO4*, [www.auto88.cz](http://www.auto88.cz), 19.9.2008, <http://www.auto88.cz/forum/showthread.php?t=8>

dostatečně prověřeno v dopravní trakci. Zjednodušené schéma výkonového měniče je uvedeno v příloze 5.

### 4.2.3. Elektromotor

V elektromobilu EHR 10 je instalován stejnosměrný sériový vzduchem chlazený motor s průběhem výkonu a točivého momentu viz graf 4-A. Tento motor pochází z produkce české firmy ZTS.

#### Štítkové hodnoty elektromotoru:

Hmotnost: 53 kg

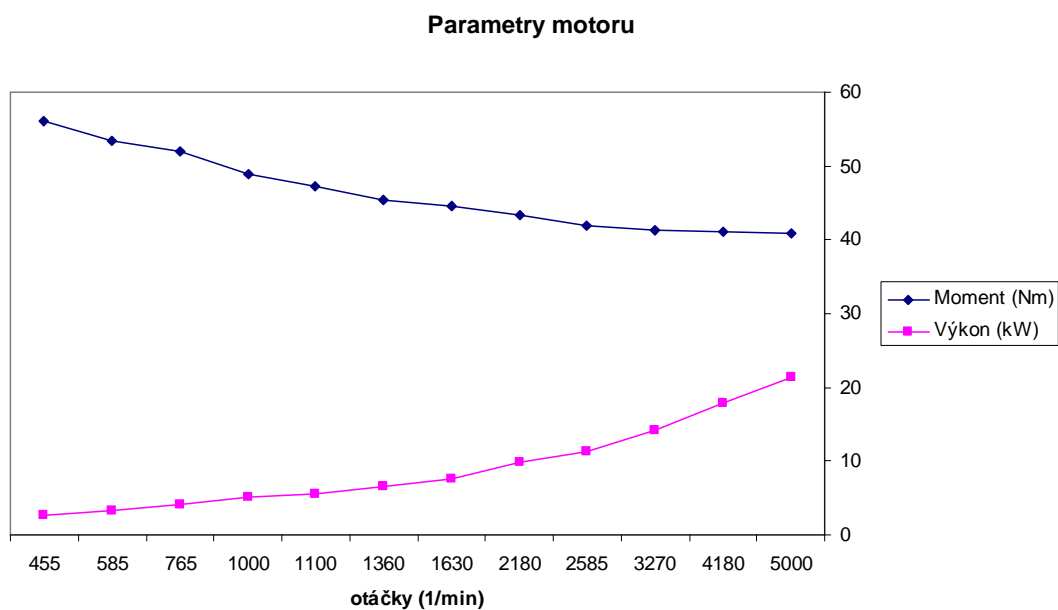
Výkon: 21 kW nom., 35 kW špičkově

Kroutící moment: 56 Nm na hřídeli

Napěťová hladina: 96V

Jmenovité otáčky: 3000 min<sup>-1</sup>

Maximální otáčky: 5000 min<sup>-1</sup>



Graf 4-A parametry stejnosměrného motoru



#### 4.2.4 Převodovka a rozvodovka

Převodovka s rozvodovkou je přejata z vozidla Fiat 600. Tento typ převodovky byl vybrán jako kompromisní s nejbližšími převodovými poměry ideální variantě systémového návrhu pohonu elektromobilu EHR 10 viz. příloha 6.

Převodové poměry výše uvedeného převodového ústrojí jsou<sup>21</sup>: I - 3,385; II - 2,055; III - 1,333; IV - 0,896; R - 4,275; SP - 5,37.



obr. 4-6 převodové ústrojí elektromobilu EHR 10

Přestože dnešní trend vozidel směřuje k automatickým, respektive robotizovaným převodovkám, byla zvolena standardní převodovka s mechanickým řazením. Vzhledem k otáčkovým charakteristikám elektromotoru byla, na základě analýzy vnějších charakteristik vozidla, zvolena čtyřstupňová převodovka. Výhodou použití manuálně řazené mechanické převodovky v elektromobilu je lepší využití charakteristiky elektrického motoru - rozšíření oblasti maximální účinnosti pohonu a také možnost získání všech potřebných dat pro další vývoj hybridního pohonu, jehož systémový návrh je cílem této práce - od kapitoly 6.

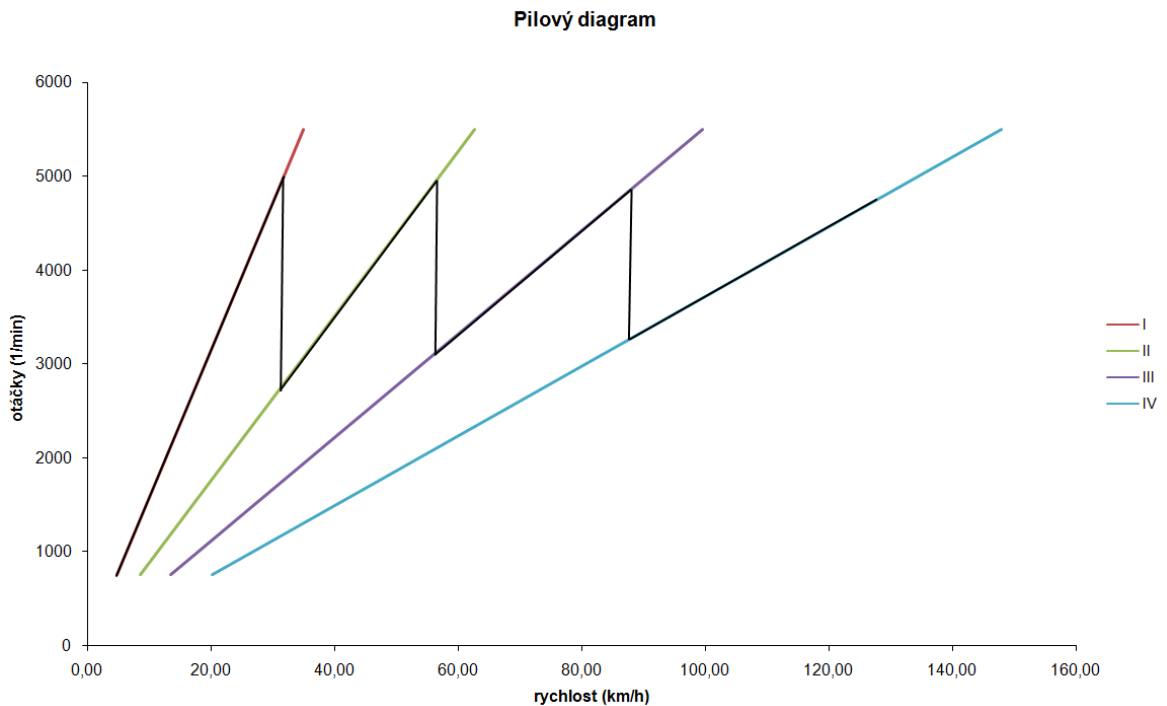
<sup>21</sup> Pažout M., *Fiat 600D*, <http://www.f600club.cz>, r.2007, <http://www.f600club.cz/600d.php>

## 4.3 Vypočtené vnější charakteristiky elektromobilu EHR 10

Tabulka výpočtu parametrů je zobrazena v příloze 7.

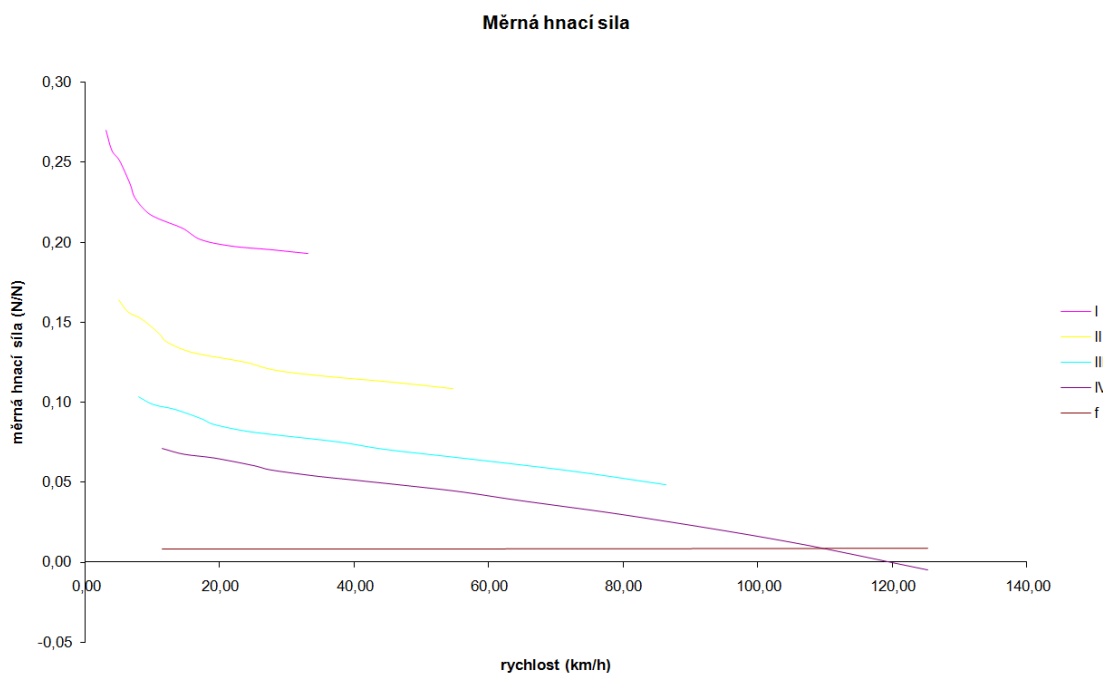
Určení výpočtové pohotovostní hmotnosti vozidla pro verifikační výpočet parametrů je uvedeno v příloze 8.

### 4.3.1 Pilový diagram



graf 4-B pilový diagram elektromobilu EHR 10

### 4.3.2 Určení maximální stoupavosti elektromobilu EHR 10



graf 4-C Zobrazení měrné hnací síly jednotlivých rychlostních stupňů elektromobilu EHR 10

I.	26 %
II.	15 %
III.	9 %
IV.	6 %

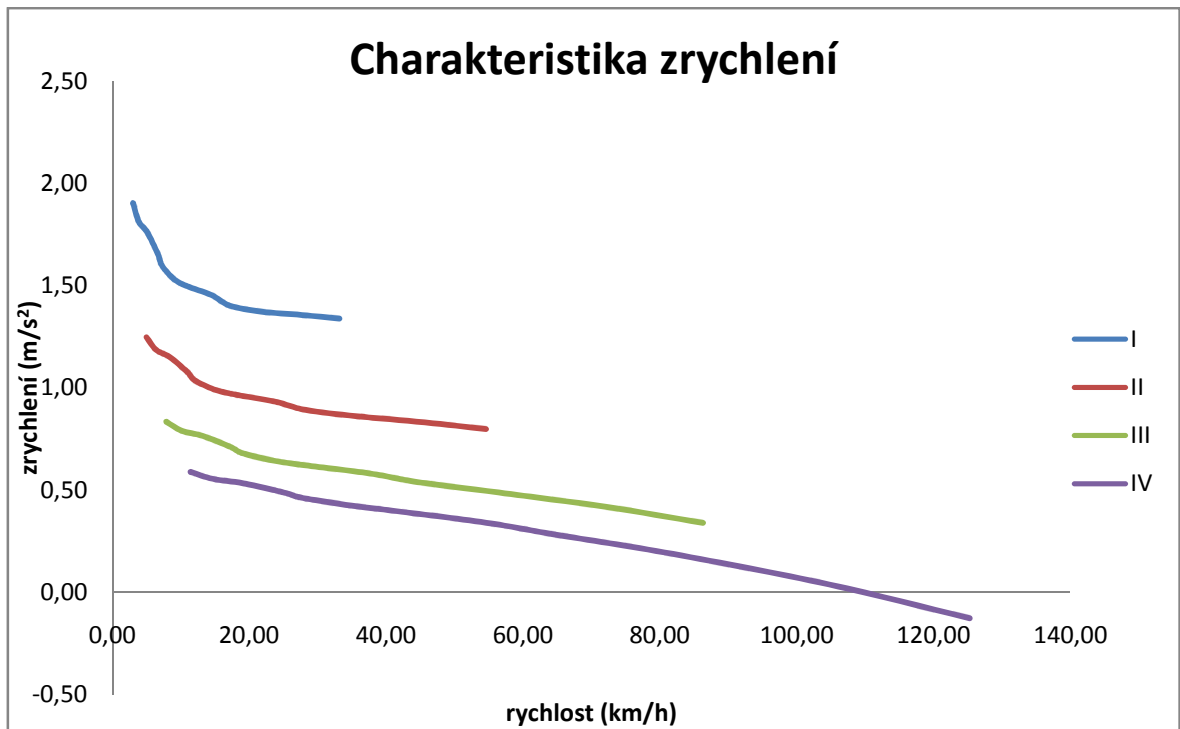
tabulka 4-I určení maximální stoupavosti elektromobilu EHR-10 pro jednotlivé rychlostní stupně

#### Výpočet maximální teoretické rychlosti vozidla EHR10

$$v_{max} = \frac{22,6 \cdot r \cdot n}{i_0 \cdot i_k} = \frac{22,6 \cdot 0,31 \cdot 83,33}{5,37 \cdot 0,896} = 121,33 [km/h]$$

Maximální stoupavost elektromobilu dle výpočtového zatížení odpovídá legislativním požadavkům na EHS/ES 97/27. Z grafu 4-C byla odečtena maximální rychlost elektromobilu EHR 10 - 110 km/h, která se, od teoreticky vypočtené maximální rychlosti při maximálních otáčkách motoru (5000 ot/min) a zařazenému 4. rychlostnímu stupni, liší o 11,33 km/h, tedy o 9,3% - při provozu vozidla bylo dosaženo krátkodobé maximální rychlosti 118km/h.

### 4.3.3 Určení zrychlení a pružnosti pohonné jednotky elektromobilu EHR 10



graf 4-D Charakteristika zrychlení elektromobilu EHR 10

I.	1,9 m/s <sup>2</sup>
II.	1,25 m/s <sup>2</sup>
III.	0,83 m/s <sup>2</sup>
IV.	0,59 m/s <sup>2</sup>

tabulka 4-II Maximální dosažená zrychlení elektromobilu EHR 10

na jednotlivé rychlostní stupně

#### 4.3.4 Teoretický výpočet spotřeby elektromobilu EHR 10 dle metodiky NEDC

Vzhledem k maximální rychlosti elektromobilu EHR 10 byla použita modifikovaná metodika EUDC a NEDC, která se používá pro vozidla s nižším výkonem motoru. Modifikace těchto metodik byla zvolena s ohledem na maximální rychlost vozidla EHR 10, kdy v cyklu EUDC (viz příloha 1) byla činnost 16,17 nahrazena prodlouženou činností 15 jejíž doba trvání byla prodloužena o 30 s na celkových 60 s.

Pro výpočet spotřeby elektromobilu EHR 10 v městském provozu bylo využito parametrizace cyklu ECE. Výpočtem (viz příloha 9) byly zjištěny následující hodnoty:

spotřeba energie pro jeden ECE cyklus: 106,55Wh

přepočítaná spotřeba na jeden kilometr ECE cyklu: 127,44 Wh

Pro výpočet spotřeby elektromobilu EHR 10 v mimoměstském provozu bylo využito modifikované parametrizace cyklu EUDC. Výpočtem byly zjištěny následující hodnoty:

spotřeba energie pro jeden cyklus EUDC: 400,89Wh

přepočítaná spotřeba na jeden kilometr EUDC cyklu: 78,25 Wh

Pro výpočet spotřeby elektromobilu EHR 10 v kombinovaném provozu bylo využito modifikované parametrizace cyklu NEDC. Výpočtem byly zjištěny následující hodnoty:

spotřeba energie pro jeden NEDC cyklus: 827,09 Wh

přepočítaná spotřeba na jeden kilometr NEDC cyklu: 110,77 Wh.

Pro větší názornost převedení spotřeby na ekvivalentní spotřebu benzínu N95 s výhřevností 43 000 kJ na 1l paliva:

<b>spotřeba město</b>	1,3 l/100km
<b>spotřeba mimo město</b>	0,8 l/100km
<b>kombinovaná spotřeba</b>	1,1 l/100km

Přestože se na první pohled jeví spotřeba elektromobilu jako velmi nízká, je třeba si uvědomit, že tato spotřeba je vypočítána bez zatížení pomocnými zařízeními elektromobilu a to zejména klimatizační/topící jednotkou (kterou vozidlo EHR 10

neobsahuje), jejíž provoz je v elektromobilu mnohem energeticky "dražší", než v automobilu se spalovacím motorem. Tento fakt je způsoben tím, že elektromobil produkuje mnohem méně odpadního tepla než konvenční automobil.

## **4.4. Energetická náročnost provozu elektromobilu EHR 10**

### **4.4.1. Provoz slaboproudého okruhu**

Provoz slaboproudého okruhu je rozdělen na provoz světelné části okruhu a na řídicí části silnoproudého okruhu, který je určující pro dojezd elektromobilu.

#### **Řídicí část**

Energetická náročnost provozu tohoto okruhu se skládá z provozu stykače, který připojuje pohonnou baterii k měniči a motoru. Stálý odběr tohoto stykače je 2A, jde tedy o spotřebu 24Wh za hodinu provozu.

Druhým zařízením je řídicí systém BMS RT. Spotřeba tohoto zařízení se pohybuje od 60mA ve stand-by režimu do 300 mA při regulaci. Energetická náročnost BMS RT je tedy 3,6W/h za hodinu provozu ve stavu plné regulace.

#### **Světelný okruh**

Pro hlavní světlomety je spotřeba definována použitím žárovek H4 s vlákny 55/60W, čemuž odpovídá spotřeba 4,6/5 A, tedy 8,2/10A pro pár hlavních světlometů<sup>22</sup>.

Odběr předních parkovacích led žárovek je potom 0,02 A/kus, čemuž odpovídá 0,04 A pro přední pár. Jde tedy o spotřebu 0,48Wh na hodinu provozu<sup>19</sup>.

---

<sup>22</sup> Kleisner P.: *Návrh polovodičového světlometu pro dopravní prostředek – diplomová práce*, ZČU v Plzni, Fakulta strojní 2008

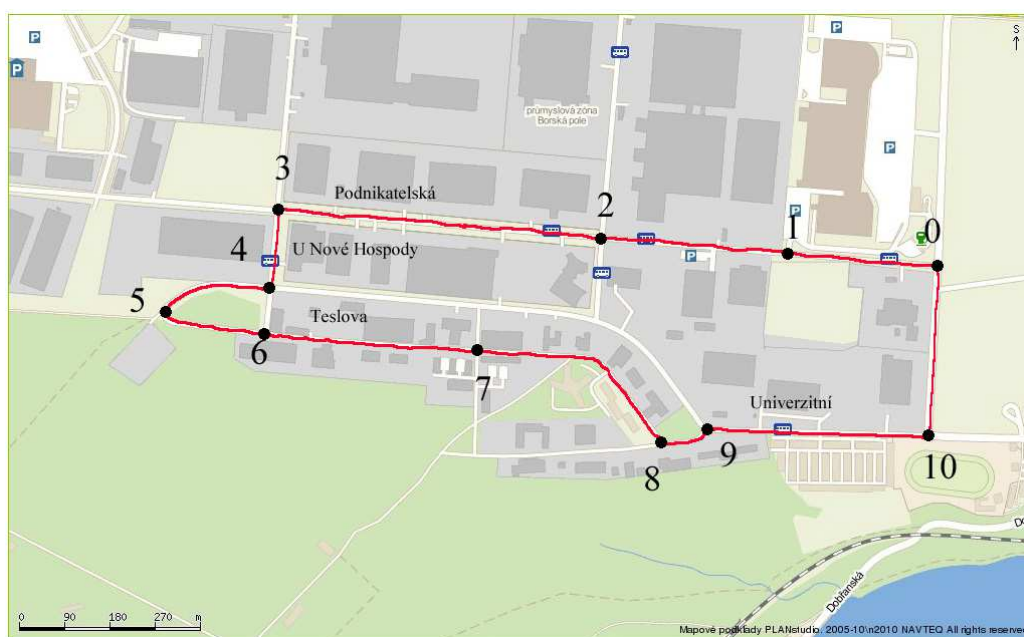
Odběr zadních obrysových světlometů je 0,5 A na pár a odběr brzdových světlometů je 1,5 A na pár. Jde tedy o spotřebu 6Wh u obrysových světlometů a 18Wh u brzdových světlometů za hodinu provozu<sup>19</sup>.

Odběr směrových světlometů je 1,33 A na stranu. Jde tedy o spotřebu 16Wh u zatáčení a 32Wh s výstražnými směrovými světlometry za hodinu provozu<sup>19</sup>.

Osvětlení palubních přístrojů potom odebírá 0,2A podle požadovaného jasu, který je regulovatelný. Jde tedy o spotřebu 2,4W za hodinu provozu<sup>19</sup>.

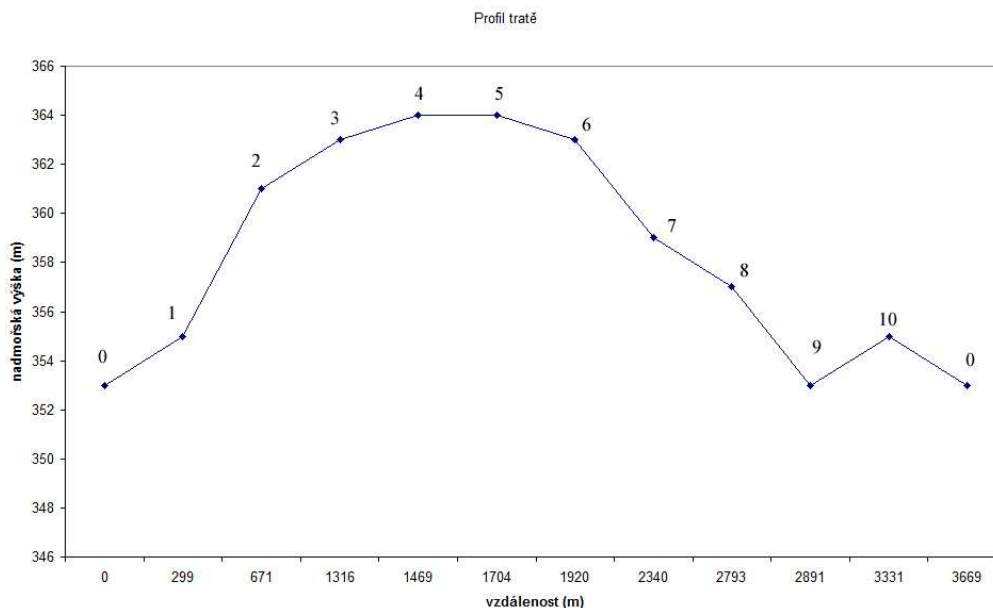
Spotřeba denních světlometů je uvedena výrobcem světlometů (typ AB-0028) jako 0,5 A při předepsaném osvětlení. Jde tedy o spotřebu 6Wh za hodinu provozu.

#### 4.4.2. Provoz silnoproudého okruhu



Obr 4-7 testovací okruh městského provozu elektromobilu EHR 10<sup>23</sup>

<sup>23</sup> www.mapy.cz



graf 4-E výškový profil testovacího okruhu městského provozu elektromobilu EHR 10

bod	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0
nadm. výška (m)	353	355	361	363	364	364	363	359	357	353	355	353
úsek. vzd. (m)	0	299	369	648	153	235	216	420	453	98	440	338
celk. vzd. (m)	0	299	671	1316	1469	1704	1920	2340	2793	2891	3331	3669
stoupání (%)	0	1,28	3,81	1,28	0,63	0,00	-0,63	-2,54	-1,28	-2,54	1,28	-0,02
úhel stoup. (°)	0	1,15	3,43	1,15	0,57	0	-0,57	-2,29	-1,15	-2,29	1,15	-0,02

tabulka 4 - III parametrický zápis testovacího okruhu městského provozu elektromobilu EHR 10

Při měření spotřeby elektromobilu EHR10 byl na trati obr. 4-7 simulován běžný městský provoz s častým zastavováním a rozjížděním. Profil trati odpovídá grafu 4-E a parametry trati jsou zobrazeny v tabulce 4-III. Simulace probíhala tak, že v bodech 0,2,3,6,8,9,10 bylo při každém okruhu zastaveno. V úsecích 0-2, 6-7, 9-10 a 10-0 bylo maximální akcelerací dosaženo 50 km/h, tato rychlost byla následně držena po maximální možné dobu (styl jízdy „brzda - plyn“). V ostatních úsecích byla udržována rychlost mezi 30 – 40 km/h. Během testu bylo obkrouženo 30 kol s dvojnásobným střídáním řidičů což odpovídá ujetí 110 km. Následně byla dle metodiky uvedené v předpisu EHK 101 stanovena kilometrická spotřeba elektromobilu EHR 10 v městském provozu na 136,4 Wh/km. Při srovnání s vypočteným výsledkem cyklu NEDC z kapitoly 4.3.4.



(127,44 Wh/km) jde o rozdíl 7,03 %. Test probíhal za následujících okolních podmínek: polojasno, mírný JZ vítr (2,5m/s), teplota 24 °C, tlak 100 380 Pa, relativní vlhkost vzduchu 64 %, průměrná dosažená rychlost během tohoto byla 36,7km/h. Měření probíhalo pomocí GPS navigace TomTom One a GPS data loggeru Garmin etrex legend.

Pro měření spotřeby elektromobilu EHR 10 v mimo městském provozu byl zvolen okruh vytyčený obcemi Plzeň, Beroun, Rakovník, Dochov a Toužim. Dle metodiky uvedené v předpisu EHK 101 byla při tomto režimu jízdy zjištěna hodnota spotřeby 85 Wh/km. Během tohoto testování bylo najeto 1018 km při okolních následujících testovacích podmínkách: polojasno, mírný proměnlivý vítr (do 4m/s), při teplotách 17 - 28 °C, tlakovém rozmezí 100 150 - 101160 Pa. Relativní vlhkost vzduchu se pohybovala mezi 60 - 75 %.

Měření kombinované spotřeby elektromobilu EHR 10 v kombinovaném provozu probíhala na trase Plzeň, Nezvěstice, Nepomuk. Dle metodiky uvedené v předpisu EHK 101 byla při tomto režimu jízdy zjištěna hodnota spotřeby 120 Wh/km. V tomto testovacím režimu bylo najeto 494 km při následujících testovacích podmínkách: zataženo, bezvětří, teplota 20 - 23 °C, vlhkost 73%, hodnota tlaku 100 900 Pa.

## **4.5. Rekuperace a její vliv na provoz elektromobilu EHR 10**

Výsledky výpočtů spotřeby elektromobilu EHR 10 uvedené v kapitole 4.3.4. jsou uvedeny bez rekuperace. Z hlediska výpočtů dle rychlostních a dynamických požadavků cyklů ECE, EUDC a NEDC je takřka nemožné objektivně vliv rekuperace na spotřebu elektromobilu zahrnout do výpočtů – důvodem je problematika časového zpoždění mezi aktivací rekuperace a možností akumulátorových článků absorbovat získanou elektrickou energii – při měření byla většina takto získané elektrické energie přeměněna v teplo do chladičů systému BMS RT. Při srovnání hodnot, které uvádí výrobci GM a Ford, jejich elektromobily dosahují použitím rekuperace úspory až 25 % energie, zejména při provozu v oblasti městského cyklu, s hodnotami získanými měřením a informacemi, které vycházejí z konzultace s konstruktérem Opelu Corsa

Elektra – Ing. Hrůzou a bývalým vývojovým pracovníkem vozidla Tatra Beta Ing. Šímou, bylo prokázáno, že hodnota 20 – 25 % je nadhodnocená. Praktické použití rekuperace přineslo úsporu elektrické energie v rozmezí 5 – 10 %. Nižší účinnost rekuperace potvrdil i model od Ing. Kristiny Hanečkové, který byl publikován na konferenci ERIN 2010<sup>24</sup>.

Rekuperace je tedy přínosným zařízením v omezené míře. Pro dosažení vyšší efektivity rekuperace je nutno osadit vozidlo super kapacitory, které jsou však z hlediska nákladů výraznou položkou, která vozidlo prodražuje.

Během měření a hodnocení energetické náročnosti provozu elektromobilu EHR 10 metodou dojezdové zkoušky byla rekuperace ve většině jízdních situací hodnocena jako nepřínosná a mnohdy i kontraproduktivní z následujících důvodů:

- Omezení kinematické setrvačnosti vozidla bez většího přínosu uspořené energie - pro sepnutí rekuperace elektrické energie je třeba aktivovat pohonnou jednotku v režimu "generátor".
- Většina rekuperované energie byla přeměněna monitorovacím systémem baterie na teplo.
- Pomalá reakce měniče na rekuperaci - při běžném průjezdu zatáčkou je množství narekuperované energie zanedbatelné.
- Při porovnání výsledků dojezdové zkoušky s rekuperací/bez rekuperace bylo při trojím opakování dojezdové zkoušky dosaženo o cca 6 km delšího dojezdu při provozu bez rekuperace.

---

<sup>24</sup> Hanečková K., *Model osobního automobilu se sériovým hybridním pohonem*, Sborník konference ERIN2010, ISBN 978-80-7043-866-4

## 4.6. Srovnávací test elektromobilů Opel Corsa Elektra a EHR10

Během testovacího provozu elektromobilu EHR 10 bylo možno provést test při němž došlo k "setkání generací". Byl porovnán elektromobil vytvořený konverzí konvenčního vozidla Opel Corsa a elektromobil EHR 10, který již od počátku byl konstruován jako elektromobil.

Obě vozidla byla při testování zatížena předepsaným zatížením 180 kg nad pohotovostní hmotnost. Tedy u EHR 10 šlo o aktuální hmotnost 1100 kg a u vozidla Opel Corsa Elektra<sup>25</sup> šlo o hmotnost 1480 kg. Test obou vozidel proběhl při běžném provozu se zatížením, které odpovídalo aktuální dopravní situaci. Více viz tabulka 4- IV.

Parametr	EHR10	Corsa Elektra
Pohotovostní hmotnost	920kg	1300 kg
Užitečná hmotnost	250 kg	340 kg
Celková hmotnost	1170 kg	1640 kg
Jmenovitý výkon	21 kW	15,4 kW
Jmenovité napětí	96V	84V
Průměrná spotřeba energie	120 Wh/km	300 Wh/km
Dosažený dojezd	170 km*	60 km
Maximální rychlost	118 km/h	80 km/h
Maximální stoupavost	26%	17%

Tabulka 4 - IV Srovnání parametrů EHR10 a Opel Corsa Elektra

\* test EHR 10 byl ukončen ve chvíli, kdy BMS RT ukazoval hodnotu 20% zbývající kapacity baterie, což odpovídá uživatelskému manuálu článků, ze kterých je baterie vyskládána.

<sup>25</sup>Elis Plzeň, *Datasheet vozidla Opel Corsa Electra*, Plzeň 1993

Při srovnání hodnot tabulky 4-IV je velmi zajímavý rozdíl v hmotnostech, na tomto rozdílu se velkou mírou podílí použitá technologie baterií, kdy Corsa Elektra používá klasických trakčních olověných akumulátorů (u zkoušeného vozidla již nebylo možno zjistit typ a výrobce), zatímco EHR10 používá článkovou baterii LiFeYPO<sub>4</sub>.

Zásadní rozdíl hodnot je u parametrů dojezdu a jízdních výkonů. Tyto parametry jen potvrzují nárůst kvality baterie v EHR 10, kdy k patrným poklesům napětí na baterii docházelo až po ujetí cca 100 km a to jen při prudké akceleraci, zatímco u Corsy Elektry se tato vlastnost začala projevovat už po cca 15 odjetých kilometrech. Velký rozdíl v průměrné spotřebě elektrické energie je potom možno vysvětlit celkovým rozdílem konstrukční myšlenky. EHR 10 je konstruován jako elektromobil, zatímco Corsa Elektra je upravený konvenční elektromobil, což s sebou přineslo mnoho neoptimalizovaných a nevhodných řešení (nevhodné převody, velká čelní plocha, aerodynamická nečistota, nevhodná kola a pneumatiky, vysoké tření v jednotlivých pohyblivých součástech vozidla) a rozdílnosti technologií palubní trakční baterie, kdy EHR 10 využívá technologii LiFeYPO<sub>4</sub>, zatímco elektromobil Opel Corsa Electra využívá trakční olověnou baterii. Výše uvedený test byl proveden v kombinovaném provozu. V případě mimoměstského testu bylo s EHR 10 dosaženo opakovaně dojezdu mezi 220 - 230 km, zatímco vůz Opel Corsa Elektra dosáhl maximálního dojezdu kolem 100km a to jen v případě, že elektrolyt baterií byl udržován v optimální teplotě.

## 4.7. Souhrn analýzy elektromobilu EHR 10

Byla provedena komplexní analýza elektromobilu EHR 10. V teoretické části analýzy byly vypočteny vnější charakteristiky vozidla a dle průběhů cyklů ECE, EUDC, NEDC byl proveden výpočet spotřeby vozidla, který vychází z výpočtu vnějších charakteristik vozidla. V praktické části bylo provedeno měření energetické spotřeby elektromobilu dojezdovou zkouškou dle standardu EHK 101, které odpovídá měření spotřeby energie dobité palubní trakční baterie na stav 100% nabití. Při srovnání vypočtených a naměřených hodnot v cyklu ECE byla naměřena spotřeba 136,4 Wh/km (výpočet NEDC 127,44 Wh/km), v cyklu EUDC byla naměřena hodnota 85 Wh/km (výpočet NEDC 78,25 Wh), v cyklu NEDC byla naměřena 120 Wh/km (výpočet NEDC 110,77 Wh/km). Z hlediska odchylek se jedná o rozdíly 7,03% v ECE cyklu, 8,6% v EUDC cyklu a 8,3% v NEDC cyklu. Získaná data a poznatky z projekčního návrhu, konstrukce, stavby a experimentálního provozu elektromobilu EHR 10 jsou dále zpracovávány jako jeden ze základních pilířů systémového návrhu vozidla vybaveného duálním hybridním pohonem E/E.

### Základní výhody elektromobilu EHR 10

- Dlouhý dojezd - 220 -230 km
- Vysoká cestovní rychlost
- Nízké jízdní odpory
- Snadná ovladatelnost a údržba

### Základní nevýhody elektromobilu EHR 10

- Absence systému tepelného komfortu na palubě vozidla.
- 2 místné provedení.
- Absence střechy.
- Absence ESP.
- Doba dobíjení palubní trakční baterie.

## 5. Sběr informací a řidičských dat pro systémový vývoj pohonu E/E

### 5.1. Škoda Octavia II 2.0 TDI PD 103 kW

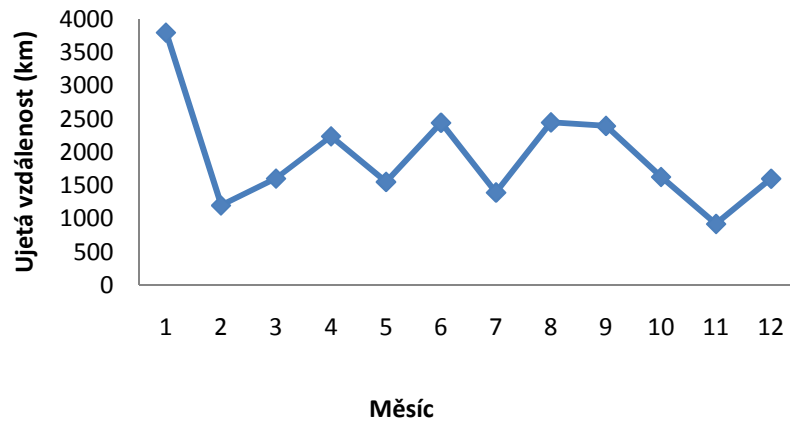
Pro potřeby disertační práce byl provoz vozidla sledován v letech 2010 - 2011. Měření bylo prováděno dojezdovou zkouškou, kdy vozidlo bylo tankováno do plné nádrže paliva a ujetá vzdálenost byla měřena palubním počítadlem ujetých kilometrů umístěným ve vozidle.

#### 5.1.1. Statistické hodnocení provozu - rok 2010

měsíc	najeto (km)	tankováno (l)	spotřeba (l/100km)
leden	1552	95,12	6,13
únor	1007	59,47	5,91
březen	1611	97,48	6,05
duben	2418	144,17	5,96
květen	1384	90,1	6,51
červen	2319	135,98	5,86
červenec	2134	148,86	6,98
srpen	1643	114,45	6,97
září	2555	178,37	6,98
říjen	2363	152,43	6,45
listopad	2388	149,49	6,26
prosinec	2102	138,8	6,60
<b>celkem</b>	<b>23476</b>	<b>1504,72</b>	<b>6,41</b>

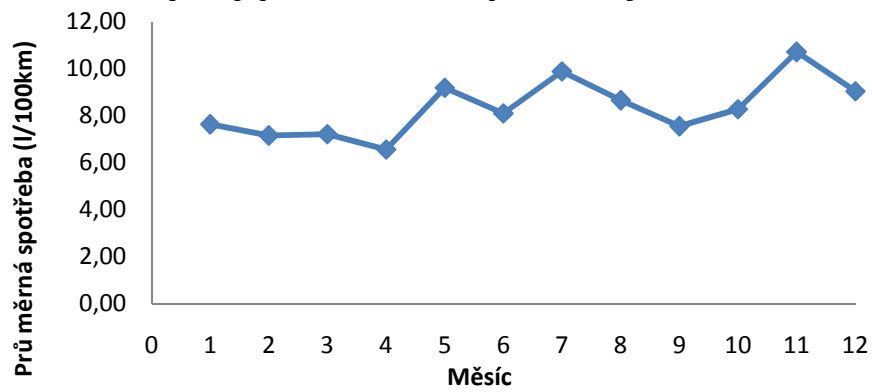
tabulka 5-I statistika provozu Škoda Octavia II rok 2010

## Nájezd km za rok 2010



graf 5 - A Škoda Octavia II měsíční rozdělení nájezdu - rok 2010

## Vývoj průměrné spotřeby 2010

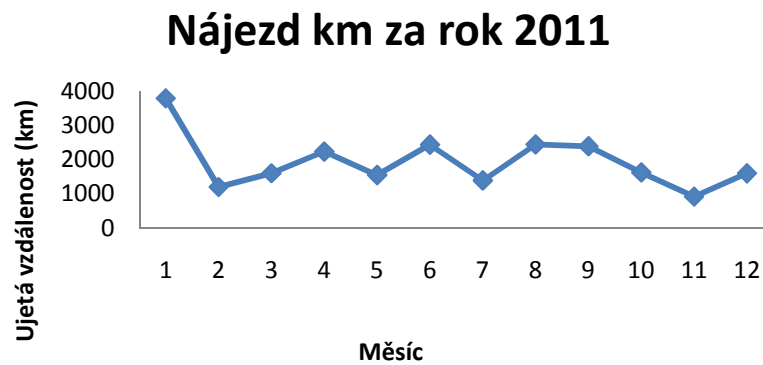


graf 5 - B Škoda Octavia II měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2010

## 5.1.2. Statistické hodnocení provozu - rok 2011

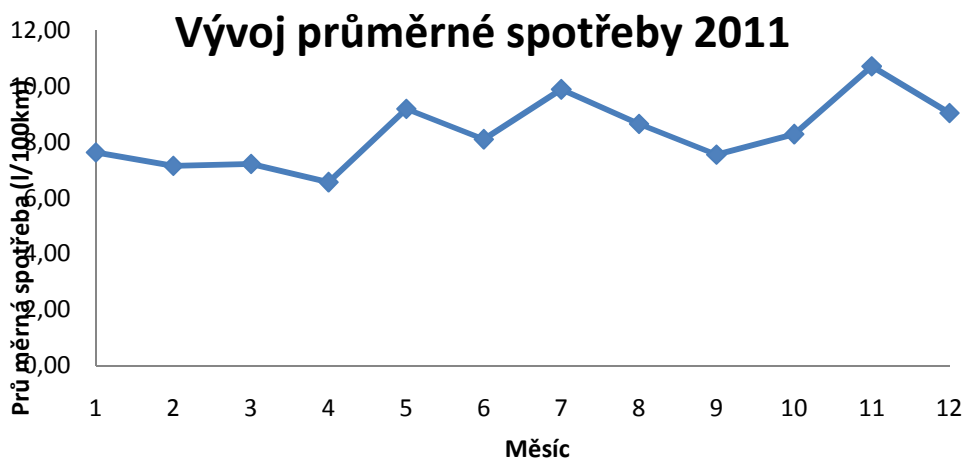
měsíc	najeto (km)	tankováno (l)	spotřeba (l/100km)
leden	1552	95,12	6,13
únor	1241	77,48	6,24
březen	1273	79,02	6,21
duben	1358	82,78	6,10
květen	1384	87,21	6,30
červen	1783	112,61	6,32
červenec	1570	101,53	6,47
srpen	2811	174,89	6,22
září	2841	170,54	6,00
říjen	1569	94,85	6,05
listopad	1359	94,26	6,94
prosinec	1808	125	6,91
<b>celkem</b>	<b>20549</b>	<b>1295,29</b>	<b>6,30</b>

tabulka 5-II statistika provozu Škoda Octavia II rok 2011



graf 5 - C Škoda Octavia II měsíční rozdělení nájezdu - rok 2011





graf 5 - D Škoda Octavia II měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2011

### 5.1.3. Shrnutí sběru informací z provozu vozidla Škoda Octavia II 2.0 TDI – PD – 103 kW

Během měření bylo vozidlo používáno k běžnému každodennímu provozu. Nejčastějším místem parkování vozidla byla oblast Plzeň1- Bolevec. Může být konstatováno, že vozidlo bylo provozováno především v reálném městském provozu, který byl velmi často doplněn o provoz dálniční. Celkem bylo během evidence provozu vozidla ujetu 44 025 km s průměrnou spotřebou 6,36 l/100km, což je nárůst o cca 12% vůči průměrné spotřebě vozidla, která je deklarována výrobcem dle metodiky NEDC. Během vedení evidence byly vyzporovány v provozu vozidla následující doporučení:

- Během denního provozu je vozidlo velmi často obsazeno 1 – 2 osobami.
- Nejčastější kilometrická vzdálenost jízdy je mezi 10 – 20km.
- Při běžném denní dojíždění za prací je pravidelný nájezd cca 1000 km/měsíc, vyšší nájezd km je způsoben cestou za zábavou, poznáním, či na dovolené.
- Výkon motoru se jeví naprosto dostačující a bez výraznějšího nárůstu spotřeby pokrývá i běh klimatizace.
- Vzhledem ke klimatickému prostředí v okolí provozovaného vozidla a nedostatečné údržbě silnici by bylo vhodné mít v mezních situacích k dispozici pohon 4x4 (vozidlo je pravidelně garážováno v halové garáží, kde

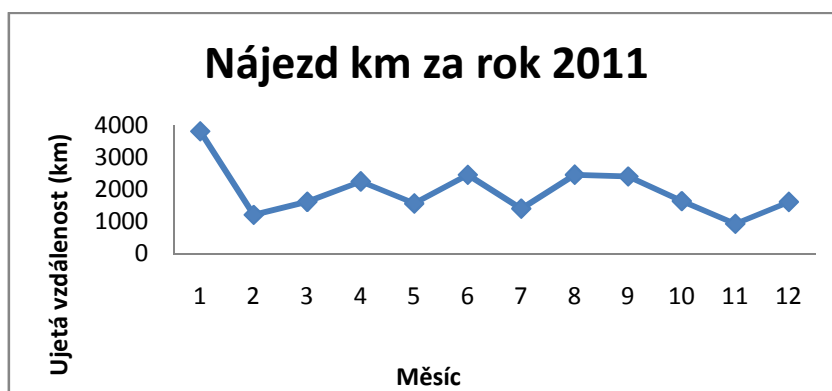
nájezd je mnohdy pro vozidlo s pohonem předních kol bez zimních řetězů nesjízdny).

## 5.2. Dacia Sandero 1.4 MPI

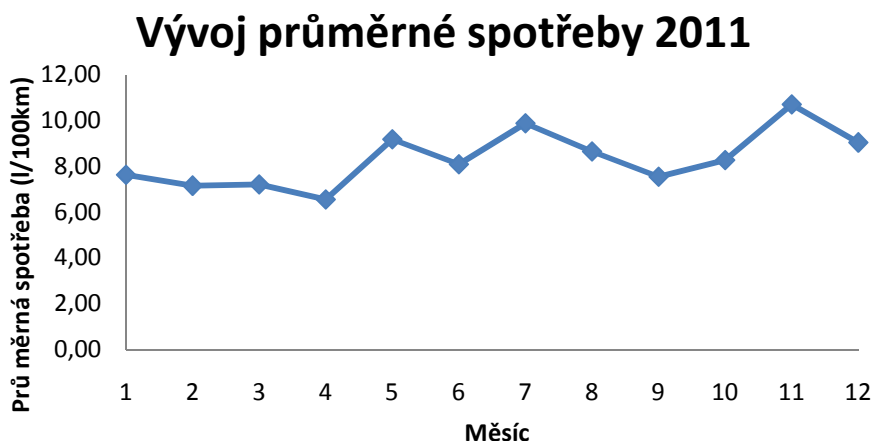
### 5.2.1. Statistické hodnocení provozu - rok 2011

měsíc	tankováno		spotřeba (l/100km)
	najeto (km)	(l)	
leden	1215	94,17	7,75
únor	1056	82,86	7,85
březen	1415	92,84	7,29
duben	1155	98,65	8,54
květen	1653	114,35	6,92
červen	1153	93,56	8,11
červenec	1086	81,15	7,47
srpen	815	59,95	7,36
září	856	62,18	7,26
říjen	986	76,65	7,77
listopad	1985	135,56	6,83
prosinec	514	39,84	7,75
<b>celkem</b>	<b>13889</b>	<b>1031,76</b>	<b>7,43</b>

tabulka 5-III statistika provozu Dacia Sandero rok 2011



graf 5 - E Dacia Sandero měsíční rozdělení nájezdu - rok 2011



graf 5 - F Dacia Sandero měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2011

## 5.2.2. Shrnutí sběru informací provozu vozidla Dacia Sandero 1.4 MPI

Během měření bylo vozidlo používáno k běžnému každodennímu provozu. Nejčastějším místem parkování vozidla byla oblast Plzeň-Újezd. Lze konstatovat, že vozidlo bylo provozováno takřka výhradně v reálném městském provozu, který byl příležitostně doplněn o provoz mimoměstský, příležitostně dálniční. Celkem bylo během evidence provozu vozidla ujetu 13889 s průměrnou spotřebou 7,43 l/100km, což je nárůst o cca 8% vůči průměrné spotřebě vozidla, která je deklarována výrobcem dle metodiky NEDC. Během vedení evidence byly v provozu vozidla následující doporučení:

- Během denního provozu je vozidlo nejčastěji osazeno jednou osobou.
- Nejčastější kilometrická vzdálenost jízdy je cca 16 km (cesta do práce).
- Při běžném denním dojíždění za prací je pravidelný nájezd cca 800 km/měsíc, vyšší nájezd km je způsoben cestou za zábavou, poznáním, či na dovolené.
- Výkon motoru je přijatelný pro přesun osob, klimatizace není ve vozidle osazena, při dálničním přesunu vykazuje vozidlo horší dynamické vlastnosti a vyšší rychlost je vykoupena rychlým a výrazným nárůstem spotřeby paliva.

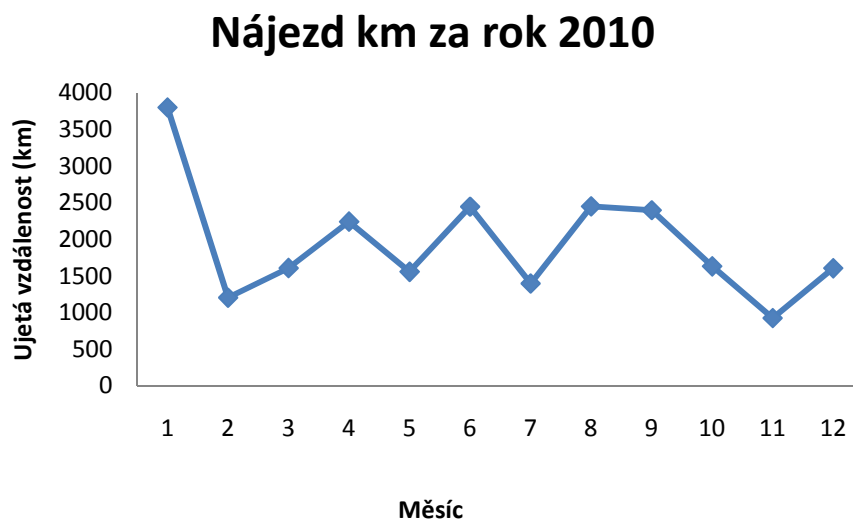
- Vzhledem ke klimatickému prostředí v okolí provozovaného vozidla a nedostatečné údržbě silnici by bylo vhodné mít v mezních situacích k dispozici pohon 4x4 (vozidlo je parkováno cca 250m od nejbližší chemicky ošetřované komunikace, cestou k místu stání je třeba překonat mírné převýšení).
- Vozidlo by mohlo být vybaveno komfortními systémy vyhřívání sedadel a aktivním vyhříváním předního okna. Na škodu by též nebyla výkonnější ventilační soustava (klimatizace).

## 5.3. Škoda Superb II 2.0 TDI CMR 125 kW

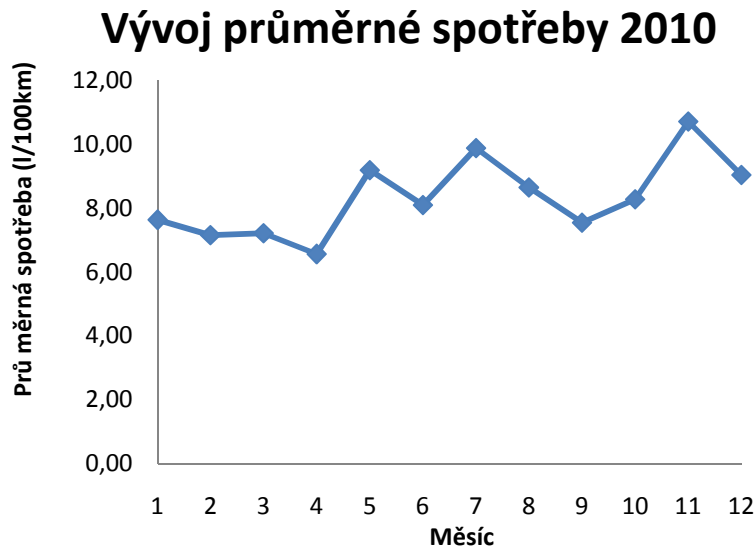
### 5.3.1. Statistické hodnocení provozu - rok 2010

měsíc	najeto (km)	tankováno (l)	spotřeba (l/100km)
leden	3800	290	7,63
únor	1202	86	7,15
březen	1607	116	7,22
duben	2241	147	6,56
květen	1556	143	9,19
červen	2445	198	8,10
červenec	1396	138	9,89
srpen	2450	212	8,65
září	2397	181	7,55
říjen	1630	135	8,28
listopad	924	99	10,71
prosinec	1604	145	9,04
celkem	23252	1890	8,33

tabulka 5-IV statistika provozu Škoda Superb II rok 2010



graf 5 - G Škoda Superb II měsíční rozdělení nájezdu - rok 2010



graf 5 - H Škoda Superb II měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2010

### 5.3.2. Shrnutí sběru informací z provozu vozidla Škoda Superb II 2.0 125 kW

Během měření bylo vozidlo používáno ke každodennímu provozu jako služební vozidlo. Nejčastějším místem parkování vozidla byla oblast Plzeň-Červený Hrádek. Vozidlo bylo provozováno nejčastěji na trase dálnice D5 a po městech Plzeň a Praha. Celkem bylo během evidence provozu vozidla ujetu 23252 s průměrnou spotřebou 8,13 l/100km, což je nárůst o cca 35% vůči průměrné spotřebě vozidla, která je deklarována výrobcem dle metodiky NEDC. Tento nezvykle vysoký nárůst lze vysvětlit stálým během klimatizace v automobilu, nezávislým topením, automatickou převodovou DSG a v neposlední řadě častým provozem v dopravní špičce po městě a častým zatížením vozidla jízdními odpory po dálnici.

Během vedení evidence byly vyzorovány v provozu vozidla následující doporučení:

- Během denního provozu je vozidlo nejčastěji osazeno jednou až dvěma osobami.
- Nejčastější kilometrická vzdálenost jízdy je cca 50 km.

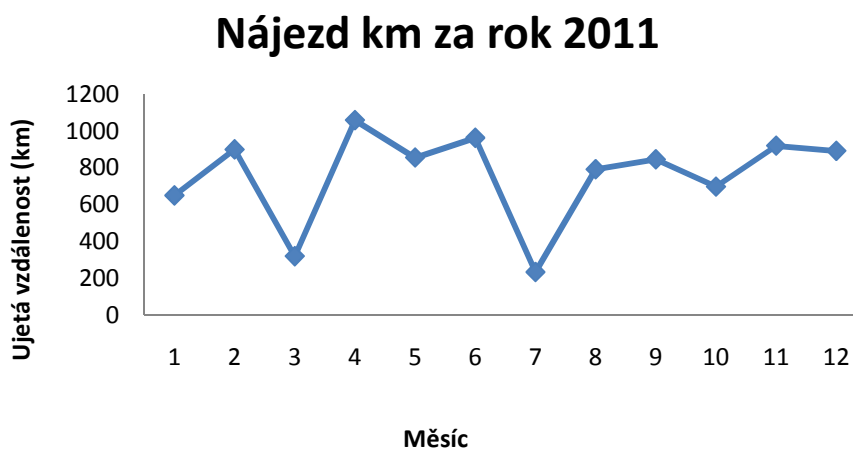
- Výkon motoru odpovídá dané kategorii vozidel včetně využití všech komfortních systémů.

## 5.4. Peugeot 207 SW 1.4

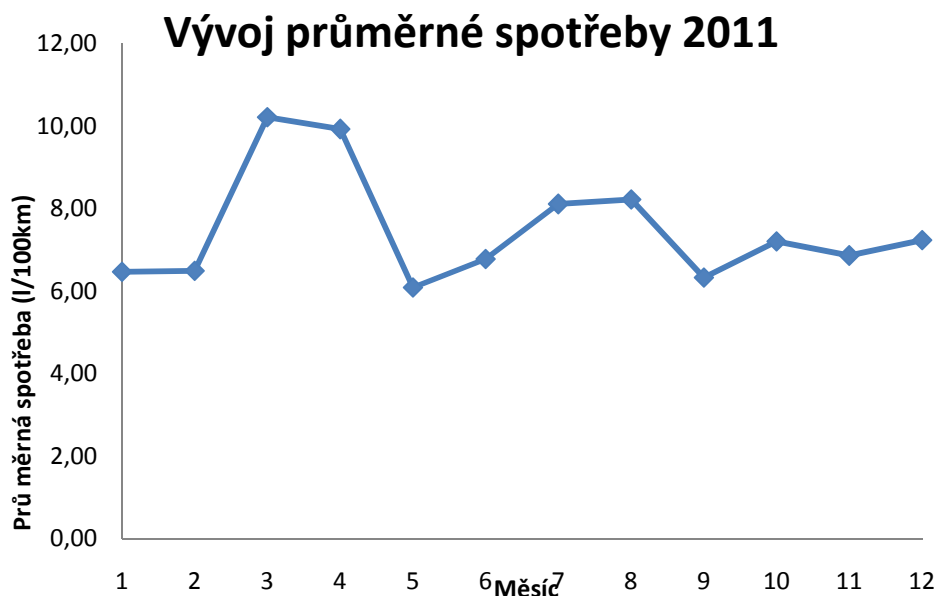
### 5.4.1. Statistické hodnocení provozu - rok 2011

měsíc	najeto (km)	tankováno (l)	spotřeba (l/100km)
leden	650	42,05	6,47
únor	900	58,46	6,50
březen	320	32,69	10,22
duben	1059	105,12	9,93
květen	856	52,12	6,09
červen	963	65,32	6,78
červenec	234	18,98	8,11
srpen	792	65,15	8,23
září	846	53,54	6,33
říjen	698	50,3	7,21
listopad	920	63,14	6,86
prosinec	892	64,56	7,24
<b>celkem</b>	<b>9130</b>	<b>671,43</b>	<b>7,35</b>

tabulka 5-V statistika provozu Peugeot 207 rok 2011



graf 5 - I Peugeot 207 měsíční rozdělení nájezdu - rok 2011



graf 5 - J Peugeot 207 měsíční rozdělení průměrné spotřeby - rok 2011

#### 5.4.2. Shrnutí sběru informací z provozu vozidla Peugeot 207SW 1.4

Během měření bylo vozidlo používáno k běžnému každodennímu provozu. Nejčastějším místem parkování vozidla byla oblast Plzeň - Červený Hrádek. Vozidlo bylo takřka výhradně provozováno v městském provozu města Plzně. Celkem bylo během evidence provozu vozidla ujetu 9130 km s průměrnou spotřebou 7,35 l/100km, což je nárůst o cca 15% vůči průměrné spotřebě vozidla, která je deklarována výrobcem dle metodiky NEDC. Během vedení evidence byly vyzorovány v provozu vozidla následující doporučení:

- Během denního provozu je vozidlo takřka výhradně osazeno jednou osobou.
- Nejčastější kilometrická vzdálenost jízdy je cca 10 km.
- Výkon motoru je dostačující pro obsazení jednou až dvěma osobami a v městském provozu. V mimoměstském provozu je nutno velmi často využívat plného výkonu motoru. Při dálničních přesunech je vozidlo již lenivé a spotřeba rychle stoupá .



- Vzhledem k místě parkování (neudržovaná místní komunikace na kopci) by bylo vhodné mít vozidlo doplněno pohonem 4x4, který by zajistil rychlé a jisté vyjetí na místo parkování v zimních měsících.
- Pro zvýšení cestovního komfortu podmínka instalace vytápěných sedadel.

## 5.5. Shrnutí získané sběrem informací a jízdních dat

Během dvou let byla sbírána data a prováděna evidence vozidel dvou generací jedné rodiny. V každé generaci bylo jedno vozidlo se vznětovým motorem a výkonem přes 100kW a jedno vozidlo se zážehovým motorem o objemu 1.4 l a výkonem cca 55 kW. Evidence měsíční spotřeby prokázala relativní vyrovnanost celoroční spotřeby vozidla, kdy vliv zimních pneumatik a zimních startů je kompenzován letním během klimatizace resp. jízdou s otevřenými okny. Během sběru dat bylo též poukazováno na výhodnost pohonu 4x4, který by umožnil bezpečné zasetí k domovské stanici daného vozidla, která ve všech případech je mimo chemicky udržované silnici a je tedy v zimě obtížně dostupná. U vozidel Peugeot a Dacia byla též poukazováno na absenci vyhřívaných sedadel a zejména na absenci aktivního vyhřívání předního okna, které se ve vlhkém prostředí stále rosilo. Z výše uvedeného a z vyhodnocení informací ze sběru dat lze tak z modelové rodiny specifikovat požadavky na vozidlo s označením „druhé do rodiny.“

- Velikost vozidla malé třídy, osazení hatchback s pěti dveřmi, s využitím otevíráním části zádi.
- Pasivní ventilace kabiny, která by omezila náklady na provoz dané konvenční klimatizací.
- Vyhřívání předního okna a sedadel.
- Alespoň dočasný pohon 4x4, který umožní bezpečné dosažení cílové stanice v oblasti bez chemického ošetření vozovek v zimním období.
- Možnost krátkodobého zvýšení výkonu pro předjížděcí manévry.
- Pro městský provoz je vhodnější automatická převodovka zejména z hlediska komfortu přesunu.

- Z hlediska financí je vhodné, aby vozidlo mělo co nejnižší zákonné pojištění vozidla a jeho provozní náklady byly na co nejnižší úrovni.
- Pro většinu jízd je zbytečná vyšší maximální rychlost než 130 km/h.

Současně s připomínkami byla konzultována otázka alternativních pohonů vozidel, která se odvíjí od aktuálního ekologického trendu úvah a postupného zavádění nízko emisních a bezemisních zón v aglomeracích<sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> Wikipedia, *Nízkoemisní zóny*, Wikipedia, poslední modifikace: 16.6.2012  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%ADzkoemisn%C3%AD\\_z%C3%B3ny](http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%ADzkoemisn%C3%AD_z%C3%B3ny)

## 6. Základní návrh vozidla pro denní použití

Na základě sběru dat, který obsahuje podrobné informace jak o vozidle se spalovacím motorem (kap. 2), tak i podrobné informace o elektromobilu (kap.4) - na obou analyzovaných vozidlech proběhlo sestavení a vylazení výpočtového modelu energetické náročnosti provozu vozidla, který bude nadále používán i při systémovém návrhu vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E.

Druhým a neméně důležitým vstupem pro systémový návrh je získání analýzy provozu z vozidel a poznatků jejich řidičů - viz kapitola 5.

Z konfrontace obou základních vstupů dat pro systémový návrh spolu s trendem vývoje individuální dopravní přepravy možno provést takřka kompletní funkční specifikaci pohonu vozidla a požadavku na velikost vozidla.

Základní kritéria, které by mělo mít ideální vozidlo s nízkými provozními náklady, pro běžný denní provoz:

- pěti dveřová karoserie, vozidlo kompaktních rozměrů
- vozidlo, které je vybaveno hybridním pohonem, který umožňuje i bezemisní provoz na dostatečnou vzdálenost
- vozidlo, které potřebuje doplnění energie max. 1x týdně - lépe méně často
- ideálně pohon 4x4 alespoň v krátkodobé konfiguraci
- vytápění a klimatizace vozidla realizována tak, aby byla takřka okamžitě k dispozici požadovaná tepelná pohoda
- nízká energetická náročnost provozu
- nenáročný servis

## 7. Základní specifikace hybridního pohonu E/E

Řešený duální hybridní pohon je kombinací několika známých řešení. Vznik tohoto pohonu je podnícen snahou o vytvoření univerzálního hybridního pohonu, který využívá předností všech dosud realizovaných pohonů automobilu. Běh pohonu E/E je tedy možné provádět v následujících konfiguracích:

- spalovací motor kombinace 4x2
- mild hybrid start stop kombinace 4x2
- sériový hybrid kombinace 4x2
- paralelní hybrid kombinace 4x4
- elektromobil kombinace 4x2

Výše uvedené kombinace pohonu tak umožňují vozidlu pohybovat se s minimální energetickou náročností v jakémkoli režimu a zároveň účelně aplikovat řetězec: *zdroj energie - transformace energie - převedení transformované energie na pohyb*.

Zároveň toto řešení výrazně snižuje nároky na instalovaný výkon jednotlivých pohonů, neboť pohonné jednotky jsou zcela efektivně využívány dle potřebného provozu. Slabší dynamické vlastnosti samotné spalovací jednotky a elektrického pohonu jsou efektivně kompenzovány funkcí kick down, kdy se vozidlo při razantním sešlápnutí akceleračního pedálu samo přepne do režimu pohonu 4x4 - tedy do módu paralelního hybridu.

### 7.1. Popis jednotlivých možných funkčních kombinací pohonu E/E

#### 7.1.1. Spalovací motor kombinace 4x2

Tento funkční mód slouží k jízdě po dálnici a přesunu mezi obcemi. Řazení obstarává pětirychlostní sekvenční převodovka s robotizovaným řazením, která je navržena tak, aby při rychlosti 130 km/h bylo vozidlo o výpočtové hmotnosti na pátý

převodový stupeň schopno překonávat normalizované dálniční stoupání bez nežádoucího zpomalování.

### **7.1.2. Sériový hybridní pohon kombinace 4x2**

Tento mód je určen pro aglomerační provoz mimo bezemisní centra. Spalovací motor je ve funkci generátoru elektrické energie a vozidlo nepohání. Vozidlo je poháněno čistě elektromotory. Tento pohon má výhodu nízkých emisí, protože spalovací motor běží v režimu nízké otáčkové pružnosti s ohledem na okamžitou minimální měrnou spotřebu.

### **7.1.3. Elektromobil kombinace 4x2**

Tento mód je určen výhradně pro bezemisní provoz nejužších center měst, kdy s ohledem na cenu bateriového packu je určen dojezd na elektrický pohon na cca 30 km, což je ve většině případů dojezd dostačující. V případě vyčerpání elektrické energie se vozidlo automaticky přepne do režimu sériového hybridního pohonu.

### **7.1.4. Paralelní hybrid kombinace 4x4**

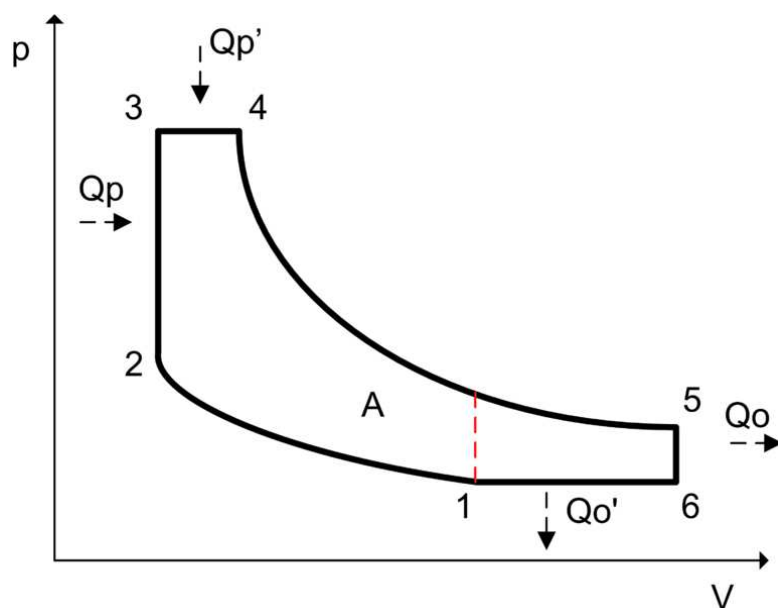
Tento mód je určen pro situace, kdy je třeba využít maximálních dynamických vlastností vozidla "kick down" režim a zároveň je určen pro situace, kdy povětrnostní podmínky jsou natolik nepříznivé, že využití pohonu 4x4 je velmi žádoucí (náledí, sníh, hustý déšť, jízda po nezpevněném terénu). Poslední možností využití tohoto pohonu je režim sport, který navazuje na režim kick down (vozidlo zůstane stále přepnuto na režim kick down).

## 8. Komponenty duálního hybridního pohonu E/E

### 8.1. Spalovací motor s prodlouženou expanzí<sup>27</sup>

Primárním zdrojem pohonné energie pohonu E/E je tříválcový spalovací zážehový motor s prodlouženou expanzí s kompresním zdvihovým objemem cca 774 ccm a expanzním zdvihovým objemem cca 1200 ccm. Uvedený spalovací zážehový motor využívá Atkinsonova cyklu viz obr. 8-1, pro aplikaci v Audreaově motoru.

Motor s prodlouženou expanzí byl pro účely práce vybrán pro svoji vyšší účinnost, než jaké dosahuje konvenční spalovací motor, nižší měrnou spotřebu a samozřejmě také pro příznivé průběhy výkonu a točivého momentu, což je výhodné pro kombinaci s elektromotory v hybridním pohonu.



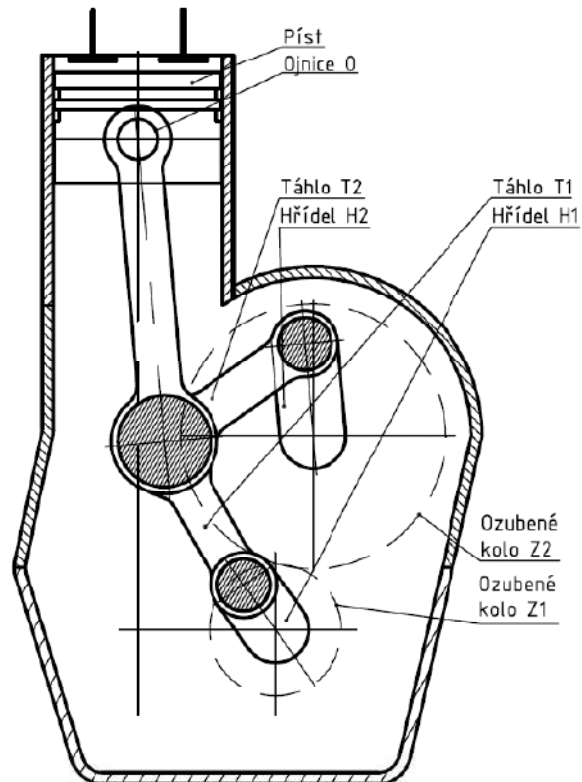
obr. 8-1 Atkinsonův cyklus<sup>28</sup>

Pro návrh motoru byla se svolením pana Prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc, přejata pístní a kliková skupina z diplomové práce pana Bc. Stanislava Tokaře "Mechanismus

<sup>27</sup> použití informací a další zpracování dat z diplomové práce [27] bylo písemně uděleno prof. Ing. Václavem Píštěkem, DrSc. viz příloha 12

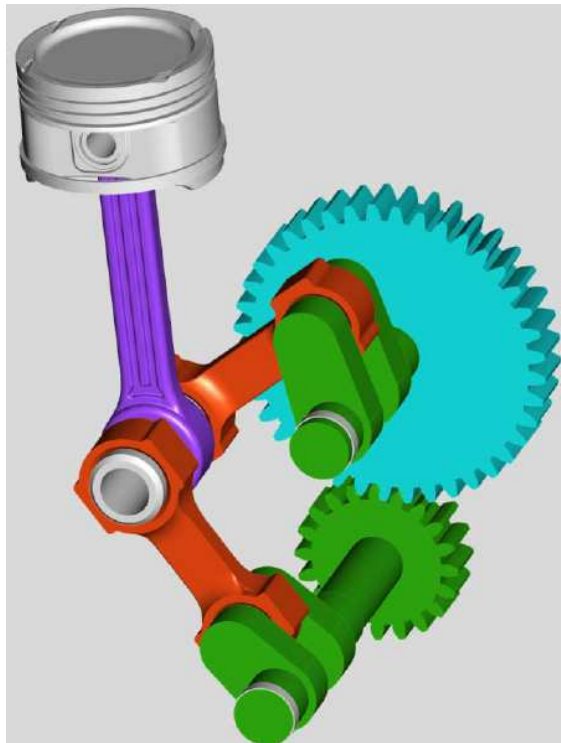
<sup>28</sup> [27] s.9

jednoválcového zážehového motoru s prodlouženou expanzí." Tento mechanismus využívá pístu a ojnice ze sériového motoru 1.2 HTP, který je používán ve vozidle Škoda Fabia. Během návrhu víceválcového motoru byly zvažovány následující varianty - dvouválcová, tříválcová a čtyřválcová. Jako hlavní energetická jednotka pohonu E/E byla vybrána varianta motoru se třemi válci, zejména pro kombinaci dostatečného výkonu při nízké hmotnosti.



obr. 8-2 řez Audreaovým motorem<sup>29</sup>

<sup>29</sup> [27] s.16

obr.8-4 3D vizualizace klikového mechanismu<sup>30</sup>

### Teoretický výpočet oběhu Audreaova motoru

Vstupní hodnoty:

Sací teplota: 293,15 K

Sací tlak: 101 325 Pa

Výhřevnost paliva: 46 400 kJ/kg<sup>31</sup>

Měrná hmotnost paliva: 750 kg/m<sup>3</sup>

Pracovní látka: 287 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>

Stupeň plnění: 1,2

Stupeň zvýšení tlaku: 4

Vrtání: 76,5mm

---

<sup>30</sup> [27], s.35

<sup>31</sup>Wikipedia, *Benzín*, [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), poslední aktualizace: 20.6.2012,  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Benz%C3%ADn#Energetick.C3.BD\\_obsah\\_.28v.C3.BDh.C5.99evnost.29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Benz%C3%ADn#Energetick.C3.BD_obsah_.28v.C3.BDh.C5.99evnost.29)



Délky jednotlivých pracovních zdvihů<sup>32</sup>:

Délka sacího zdvihu	50,17 mm
Délka kompresního zdvihu	47,12 mm
Délka expanzního zdvihu	72,70 mm
Délka výfukového zdvihu	75,76 mm

tabulka 8-I Parametrizace zdvihů Audreaova motoru

Maximální otáčky: 6000 min<sup>-1</sup>

Teoretický výpočet vychází z Atkinsonova oběhu viz obr. 8-1. Vypočítané parametry jednotlivých bodů Atkinsonova oběhu :

<b>1</b>	<b>4</b>
$V_1=244,82 \text{ ccm}$	$V_4= 42,35 \text{ ccm}$
$P_1= 0,1 \text{ M Pa}$	$P_4=8,28 \text{ MPa}$
$T_1=293,15 \text{ K}$	$T_4=4240 \text{ K}$
<b>2</b>	<b>5</b>
$V_2=28,34 \text{ ccm}$	$V_5=376,38 \text{ ccm}$
$P_2=2,07 \text{ MPa}$	$P_5=0,398 \text{ MPa}$
$T_2=694,54 \text{ K}$	$T_5=1774,06 \text{ K}$
<b>3</b>	<b>6</b>
$V_3=28,34 \text{ ccm}$	$V_6=376,56 \text{ ccm}$
$P_3= 8,28 \text{ MPa}$	$P_6=0,1 \text{ MPa}$
$T_3=2778,16 \text{ K}$	$T_6=450,9 \text{ K}$

<sup>32</sup> [27], kap. 2.2

**Vypočtené parametry motoru:**

kompresní poměr:

$$\varepsilon_1 = \frac{V_1}{V_{2,3}} = \frac{244,82}{28,33} = 8,64$$

expanzní poměr:

$$\varepsilon_2 = \frac{V_{5,6}}{V_4} = \frac{376,56}{28,34} = 13,29$$

teoretická účinnost motoru:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon_2^{k-1}} = 1 - \frac{1}{13,29^{1,4-1}} = 0,64$$

objem válce motoru při sací fázi cyklu:

$$V_s = V_{2,3} + V_{zs} = 28,34 + \left( \frac{3,14 \cdot 7,65^2}{4} \cdot 5,017 \right) = 258,82 \text{ ccm}$$

hmotnostní průtok nasávané směsi při maximálních otáčkách (6000 min<sup>-1</sup>):

$$\dot{m}_s = \frac{p_1 \cdot (3 \cdot V_s)}{r \cdot T_1} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot (3 \cdot 258,82 \cdot 10^{-6})}{287 \cdot 293,15} \cdot \frac{6000}{120} = 0,046 [\text{kg/s}]$$

tepelný průtok:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{př} &= \dot{m}_s \cdot c_{vzduch} \cdot (T_3 - T_2) + \dot{m}_s \cdot c_{pvzduch} \cdot (T_4 - T_3) = \\ &= 0,046 \cdot 717,5 \cdot (2778,16 - 694,54) + 0,046 \cdot 1004,5 \cdot (4240 - 2778,16) \\ &= 94749,2 [\text{W}] \end{aligned}$$

teoretický výkon při maximálních otáčkách:

$$P = \eta_t \cdot \dot{Q}_{př} = 0,64 \cdot 94,749,2 = 57797 [\text{W}]$$

teoretický točivý moment:

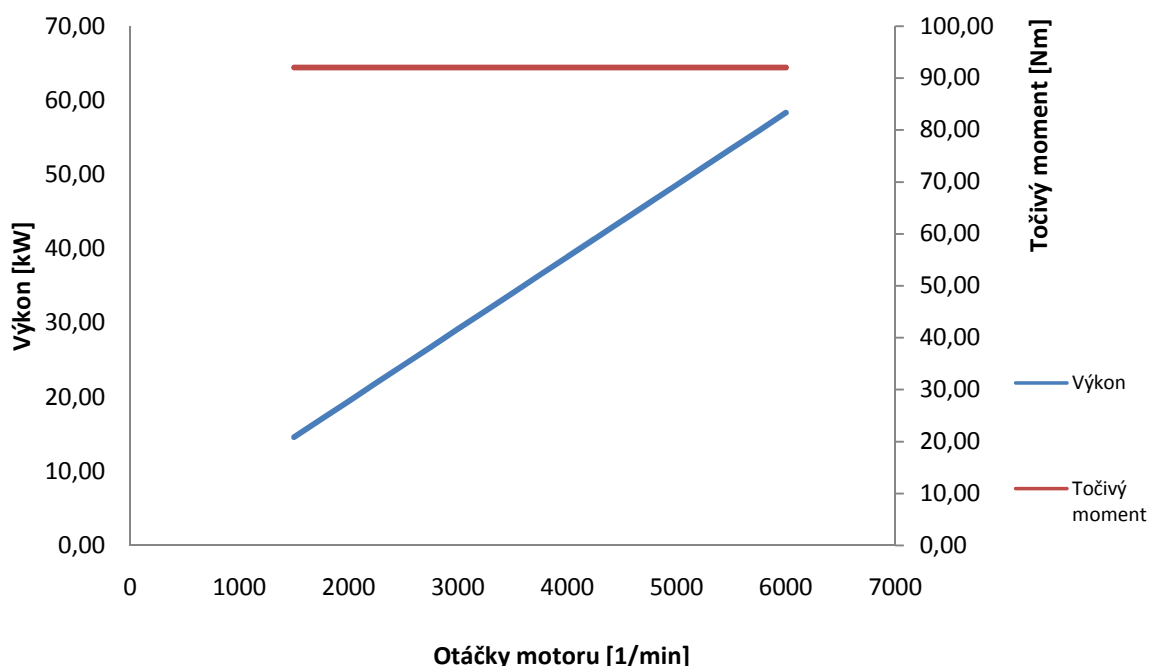
$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{57797}{2 \cdot 3,14 \cdot 100} = 92 [\text{N} \cdot \text{m}]$$

výpočet teoretické spotřeby paliva:

$$\dot{m}_{pal} = \frac{\dot{Q}_{př}}{q_n} = \frac{94749,2}{46400000} \cdot 3600 = 7,35 [\text{kg/h}] \Rightarrow 9,8 [\text{l/h}]$$

Na základně výše uvedeného analytického výpočtu byly vytvořeny křivky teoretického výkonu a točivého momentu viz graf 8 - A.

### Průběhy teoretického výkonu a točivého momentu



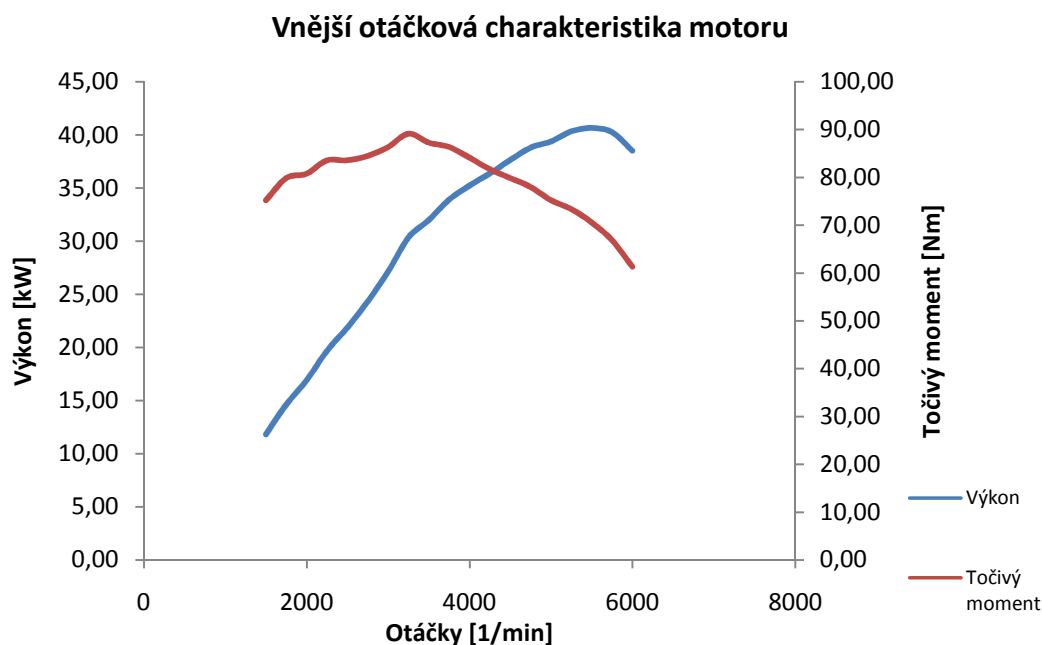
graf 8 -A teoretické průběhy výkonu a točivého momentu řešeného spalovacího motoru

Vypočtená vnější otáčková charakteristika reálného motoru byla získána z matematického modelu pomocí metody nejmenších čtverců na základě statistického získání dat, kdy byly porovnávány průběhy teoretického výkonu a točivého momentu s naměřenými hodnotami z dynamometru u vozidel uvedených v předchozích kapitolách této práce tedy u vozidel: Peugeot 106, Škoda Octavia II, Peugeot 207, Škoda Superb II a Dacia Sandero<sup>33</sup>. Krom vozidel uvedených v této práci byly porovnány charakteristiky vozidla Toyota RAV4, Toyota Avensis a motocyklů Jawa 350/640, Kawasaki W650. U výše uvedených vozidel byla provedena i zpětná přepočtová kontrola, kdy se veškeré přepočtové parametry vešly do chyby  $\pm 7\%$ . Přestože maximální rozptyl chyby 14 % připomíná spíše metodu odhadu, je tato metoda velmi přesná, protože výpočtové body jsou následně prokládány křivkou, která svojí konvergencí snižuje chybu na přijatelnou mez. Vzhledem k praktickému ověření této metody při úpravách motorů pro soutěže historických a klasických vozidel na přírodních okruzích je možné tuto metodu prohlásit

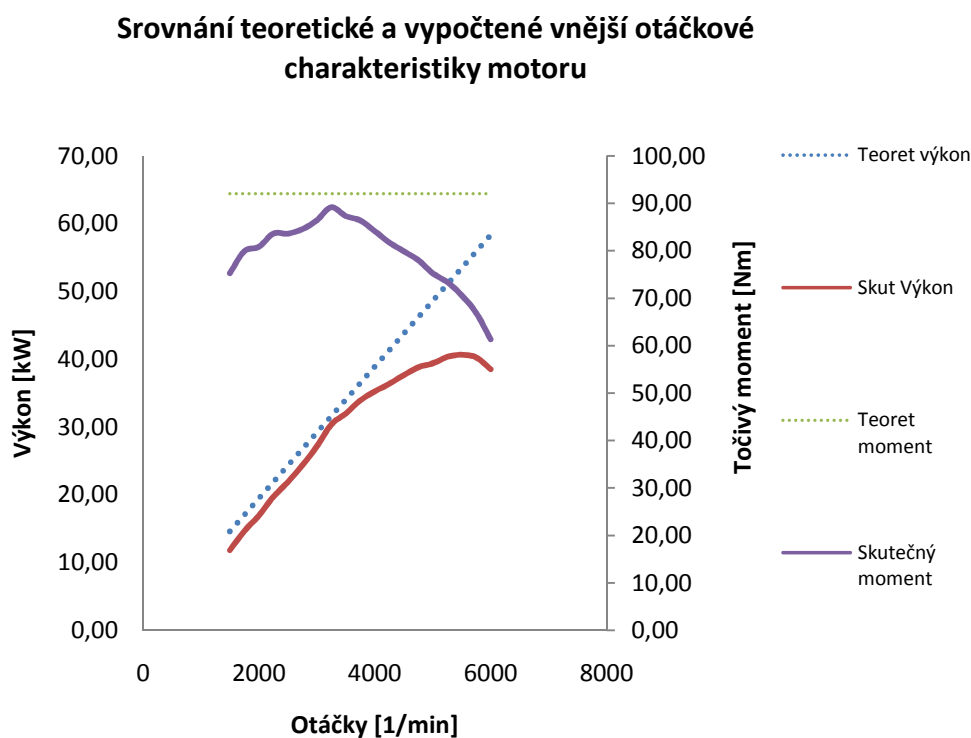
<sup>33</sup> Ukázková část výpočtu pro vybrané body vnějších otáčkových charakteristik je uvedena v příloze 11

pro účely této práce za dostatečně přesnou a vyhovující. Takto zjištěná vnější otáčková charakteristika motoru je zobrazena v grafu 8-B. Srovnání se zobrazením rozdílů mezi teoretickým a vypočteným průběhem je zobrazeno v grafu 8-C srovnání teoretické a vypočtené vnější otáčkové charakteristiky motoru.

Předpokládaná vnější otáčková charakteristika řešeného spalovacího motoru:



graf 8 -B vypočtená vnější otáčková charakteristika řešeného spalovacího motoru



graf 8 -C srovnání teoretické a vypočtené vnější otáčkové charakteristiky řešeného spalovacího motoru

### Vyhodnocení pružnosti spalovací pohonné jednotky pohonu E/E

momentová pružnost:  $e_M = \frac{M^M - M^P}{M^P} = 0,26$

otáčková pružnost:  $e_n = \frac{n^P}{n^M} = 1,69$

celková pružnost:  $e_c = e_M \cdot e_n = 0,44$

## 8.2. Elektrický motor

Elektrický pohonný agregát, pro systémový návrh duálního hybridního pohonu E/E, byl vybrán z produkce anglické firmy Greenmotorsport. Pro zajištění dostatečného výkonu pro osazení řešeného pohonu do vozidla s pohotovostní hmotností cca 1250kg, je tedy třeba provést zdvojení motorové jednotky viz. graf 8-D.

Parametry motoru<sup>34</sup>:

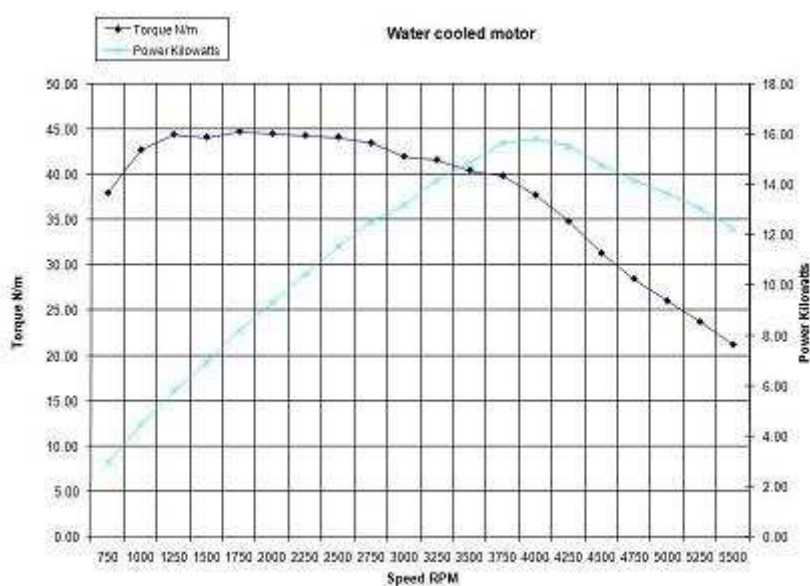
Stálý výkon: 18 KW

Výkon při přetížení do 5 min: 27.5KW

Točivý moment: 45,5 NM při 4000 1/min nebo 50NM při 3800 1/min

Hmotnost motoru bez příslušenství: 15,54kg

Pracovní napětí motoru: 48-84 V

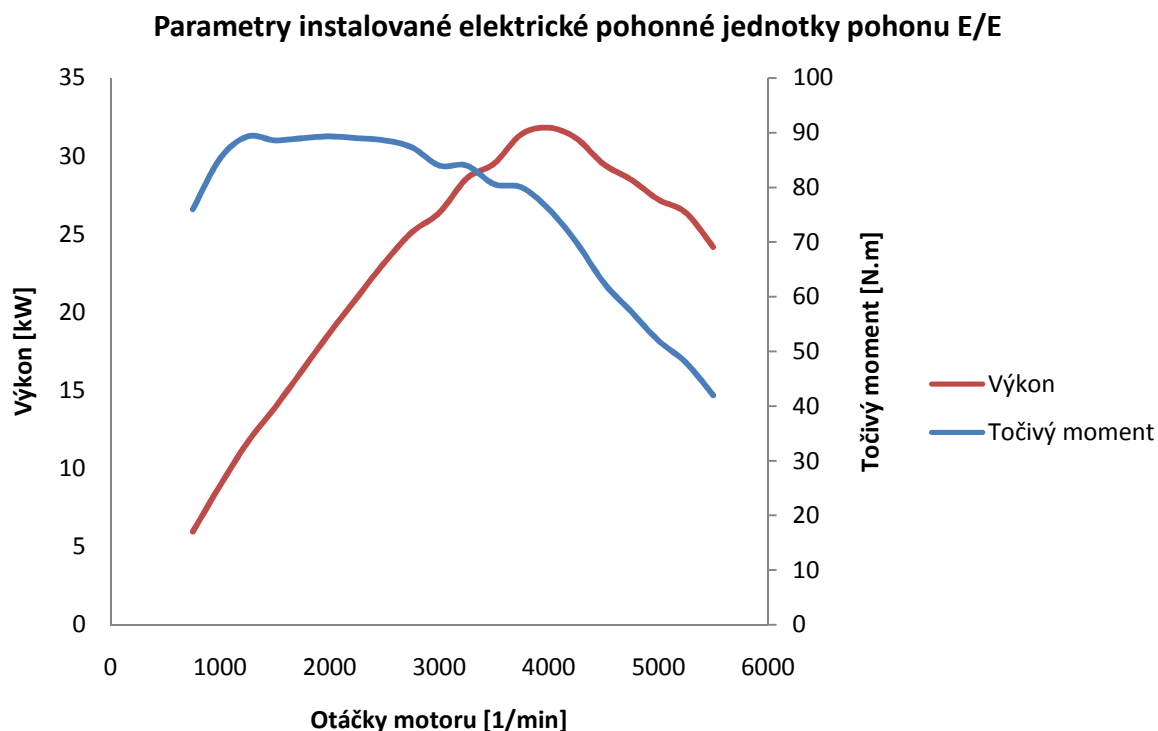


obr. 8-4 vnější otáčkové charakteristiky elektromotoru z produkce firmy Greenmotorsport<sup>35</sup>

<sup>34</sup>Float G., [www.greenmotorsport.com](http://www.greenmotorsport.com), [www.greenmotorsport.com](http://www.greenmotorsport.com), r. 2012, [www.greenmotorsport.com](http://www.greenmotorsport.com)

<sup>35</sup>Float G., [www.greenmotorsport.com](http://www.greenmotorsport.com), [www.greenmotorsport.com](http://www.greenmotorsport.com), r. 2012  
[http://www.greenmotorsport.com/green\\_motorsport/products\\_and\\_services/3,1,388,17,12958.html](http://www.greenmotorsport.com/green_motorsport/products_and_services/3,1,388,17,12958.html)

Výpočtový model pohonné elektrické jednotky má tedy následující průběhy výkonu a točivého momentu:



graf 8 -D vnější otáčkové charakteristiky instalované elektrické pohonné jednotky pohonu E/E

Výhodou použití uvedeného typu elektromotorů je vysoká podobnost průběhů křivek točivého momentu a výkonu s průběhy, kterými disponují spalovací motory. Tato podobnost usnadňuje nejen dimenzování převodů, ale zároveň snižuje nároky na nadřazené řízení pohonu, které má za úkol např. řazení, přepínání mezi jednotlivými možnými jízdními režimy pohonu atd.

Využití dvou motorů na jedné nápravě je zároveň výhodné z hlediska celkové kompaktnosti celé pohonné skupiny módu elektromobilu.

## 8.3. Převodovka

Převody v duálním hybridním pohonu E/E jsou řešeny pomocí tří identických postupně řazených převodovek se synchronizovaným řazením. Rozmístění převodovek je následující – první převodovka je klasickým způsobem zařazena za spalovací motor nad přední nápravou vozidla s tím rozdílem, že spojka je umístěna na výstupní hřídeli. Umístění převodovek elektrické části duálního hybridního systému je provedeno separátně pro každé kolo zadní nápravy zvlášť. Toto na první pohled komplikované řešení rozmístění převodovek má, kromě velkého negativa – cenové náročnosti realizace, zásadní vliv na efektivitu a velkou funkční modulárnost duálního hybridního pohonu E/E. Velkým přínosem je využití synchronizovaného elektromechanického řazení všech tří převodovek v kombinaci s umístěním spojky na výstupní hřídeli převodovky. V praxi tato kombinace umožňuje libovolné připojení a odpojení jakékoli části pohonu systémem clutch drive (viz kap. 8.4.2.) tak, že je vždy s maximální efektivitou využita pohonná energie dle současné potřeby vozidla. V praxi tak probíhá adekvátní řazení i na převodovkách, které momentálně aktivně nepracují. Tento způsob řazení umožňuje nasazení momentálně odpojené části duálního hybridního pohonu E/E se zpožděním, které je ovlivněno jen časem, který je potřeba k sepnutí ovládací spojky.

	I.	II.	III.	IV.	V	R	SP
i	3,778	2,323	1,608	1,227	1	4,15	3,389

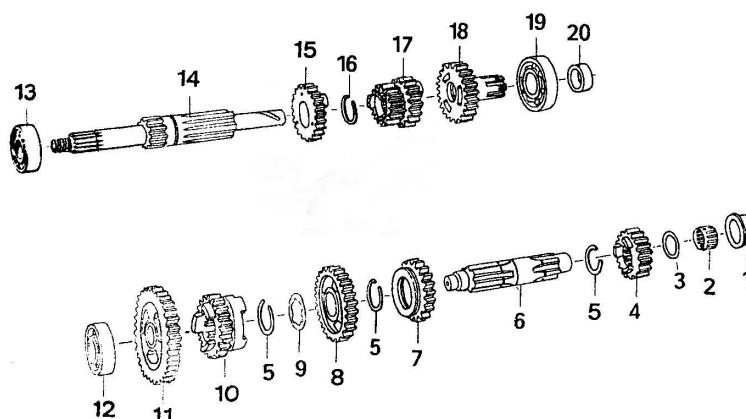
tabulka 8-II rozložení převodových stupňů převodovek pohonu E/E

### 8.3.1. Konstrukční schéma převodovky

Převodovka je z hlediska velikosti zástavby řešena motocyklovým způsobem – jde tedy o postupně řazenou dvou hřídelovou převodovku, která umožňuje řadícímu mechanismu přesun řadících ozubených kol jak na hlavní, tak i předlokové hřídeli viz obr. 8-5.

*Pozn. Na obrázcích 8-5 s 8-6 je zakresleno rozložení převodů pro pohyb vpřed, zpětný chod je řešen klasickým způsobem - vložením protiběžného kola mezi hřídele.*



obr. 8-5 složení hřídelí převodovky<sup>36</sup>

Kusovník hřídelí převodovky:

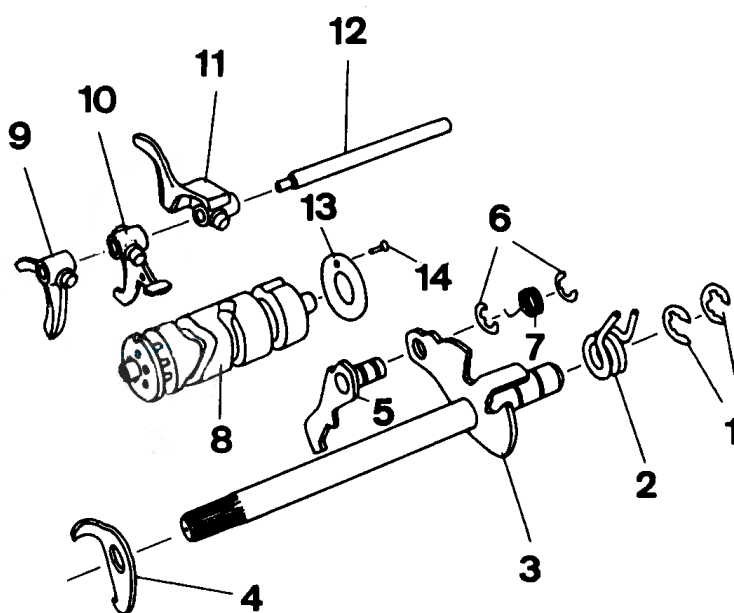
poz.1 - pouzdro předlokové hřídele	poz. 11 - předlokové kolo 1. rychlosti
poz.2 - jehlové ložisko	poz.12 - ložisko
poz. 3 - podložka	poz. 13 - ložisko
poz. 4 - kolo předlokové hřídele 3. rychlosti	poz. 14 - hlavní hřídel
poz. 5 - pojistný kroužek	poz. 15 - hnací kolo 4. rychlosti
poz. 6 - předloková hřídel	poz. 16 - pružný kroužek
poz. 7 - kolo 3. rychlosti	poz. 17 - kolo 4. a 5. rychlosti
poz. 8 - předlokové kolo 2. rychlosti	poz. 18 - kolo s hlavou
poz. 9 - podložka	poz. 19 - ložisko
poz. 10 - kolo 1. a 2. rychlosti	poz. 20 - rozpěrné pouzdro

<sup>36</sup> IFA, Provozní návod motocyklů a katalog náhradních dílů MZ150 a 250 ETZ, IFA mobile DDR 1988

### 8.3.2. Konstrukční schéma řadícího mechanismu převodovky

Tak jako konstrukce celé předovky i konstrukce řazení je řešena dle motocyklové převodovky. Schéma složení řadícího mechanismu je zobrazeno na obr. 8 - 6. Řazení je realizováno robotizovaným způsobem pomocí lineárního elektromotoru, který provádí postupné zasouvání rychlostního stupně.

Řazení ve vozidle je realizováno buď automaticky nebo elektronickými pádly pod volantem. Řazení probíhá na všech převodovkách současně, kdy převodovky části pohonu, který právě není používán jsou rozepnuty více kap. 8.4.2.



obr. 8-6 řadící mechanismus převodovky<sup>37</sup>

<sup>37</sup> IFA, Provozní návod motocyklů a katalog náhradních dílů MZ150 a 250 ETZ, IFA mobile DDR 1988

Kusovník řazení převodovky

poz.1 - pojistka

poz. 9 vidlička řazení 1. a 2. rychlost

poz.2 - vratná pružina

poz. 10 - vidlička řazení 3. rychlost

poz.3 - hřídel řazení

poz.11 - vidlička řazení 4. a 5. rychlost

poz. 4 - zajišťovací páka

poz. 12 - čep vidliček řazení

poz. 5 - palec řazení

poz. 13 - izolační podložka

poz.6 - pojistka

poz. 14 - zajišťovací šroub

poz. 7 - pružina

poz. 8 - řadící váleček

## 8.4. Spojka

Spojka je umístěna na výstupní hřídeli převodovky. Výhodou tohoto řešení je možnost odpojení kompletního hnacího ústrojí při využití jiného jízdního režimu z rodiny jízdních režimů duálního hybridního pohonu E/E. Možnost kompletního odpojení jednotlivých částí duálního hybridního pohonu E/E je velmi výhodné z hlediska snížení jízdních odporů při nevyužívání dané části pohonného systému. Při měření spotřeby elektrické energie elektromobilu EHR 10 se prokázalo, že pro celkový dojezd je ve většině případů výhodnější využít kinetickou energii pro dojezd volnoběhem než zahájit rekuperaci.

### 8.4.1. Konstrukce spojky

Spojka je řešena jako jednolamelová suchá spojka s přítlačnou talířovou pružinou (viz obr. 8-7). Pro danou požadovanou únosnost spojky je možné aplikovat běžnou sestavu spojky, která je používána ve vozidlech Peugeot 106, jde o spojku firmy LUK katalogového čísla: LK 618107600 - spojka byla vybrána dle níže uvedeného výpočtu únosnosti spojky. Spojka je konstrukčně uložena až na výstupní hřídeli převodovky (toto patentem chráněné řešení aplikoval jako první Ing. František Pudil na závodním

motocyklu Čz typ 860 v roce 1971<sup>38</sup>), což je výhodné pro snížení odporů v případě odpojení pohonu dané nápravy a nezbytné pro správnou funkci systému clutch drive.

Výpočet únosnosti spojky:

$$D_s = \frac{2 \cdot M_V}{n_p \cdot f \cdot \frac{F_a}{\sin \alpha}} = \frac{200}{2 \cdot 0,32 \cdot 4000} = 78 \text{ [mm]}^{39}$$

kde:

$M_V$  - maximální točivý moment pohonné jednotky - 100 N.m

$n_p$  - počet třecích ploch spojky - 2

$f$  - součinitel tření spojkové lamely - 0,32

$F_a$  - osová přítlačná síla - 4000 N

$\sin \alpha$  - úhel třecího kužele -  $90^\circ$

požadovaný koeficient bezpečnosti - 1,75

požadovaný střední průměr spojkové lamely s akceptováním koeficientu bezpečnosti 1,75 - 136 mm → je zvolena spojka o průměru 180 mm



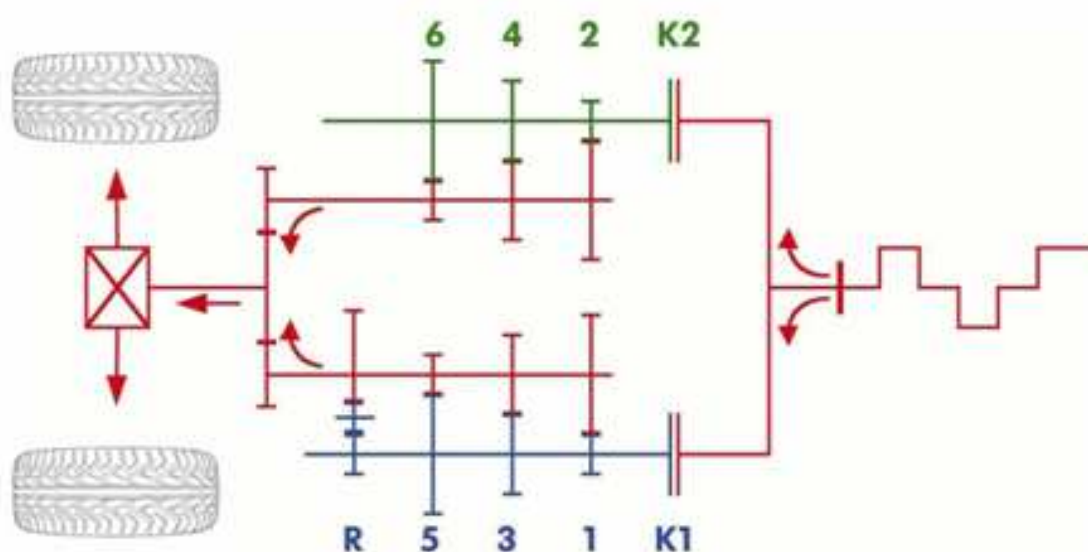
obr. 8-7 jednolamelová spojka s talířovou přítlačnou pružinou<sup>40</sup>

<sup>38</sup> Wohlmuth J., *Rychlá řídítka*, GRADA Publishing a.s., Praha 2010, kap. Čz\*Ing.František Pudil str.28

<sup>39</sup> [14], s.258

## 8.4.2. Systém Clutch drive

Systém Clutch drive pracuje obdobným systémem, jaký je znám z robotizované převodovky DSG - viz obr. 8-8. Při zařazení jakéhokoli převodového stupně proběhne toto přeřazení na všech třech převodovkách, které jsou obsaženy v pohonu E/E - nadřazené řízení pak dle zvoleného funkčního módu rozhodne, která ze spojek bude po přeřazení opětovně sepnuta, či zda zůstane rozepnuta. Toto řešení je velmi výhodné vzhledem k přepínání mezi jednotlivými módy pohonu a při přepínání, či připojování/odpojování hnacích náprav.



obr 8-8 Schéma robotizované převodovky DSG<sup>41</sup>

<sup>40</sup> AWEB develo s.r.o., *Spojkový set*, <http://www.rajautodilu.cz>, r 2012, <http://www.rajautodilu.cz/Spojkovesady/>

<sup>41</sup> Sajdl J., *Převodovka DSG*, <http://cs.autolexicon.net>, r .2011, <http://cs.autolexicon.net/articles/prevodovka-dsg/>

## 8.5. Diferenciály

### 8.5.1. Diferenciál přední nápravy

Vzhledem k aplikaci klasického spalovacího motoru s převodovým ústrojím a spojkou nad přední nápravou je přední diferenciál řešen pomocí klasického mechanického diferenciálu viz. obr. 8-9.

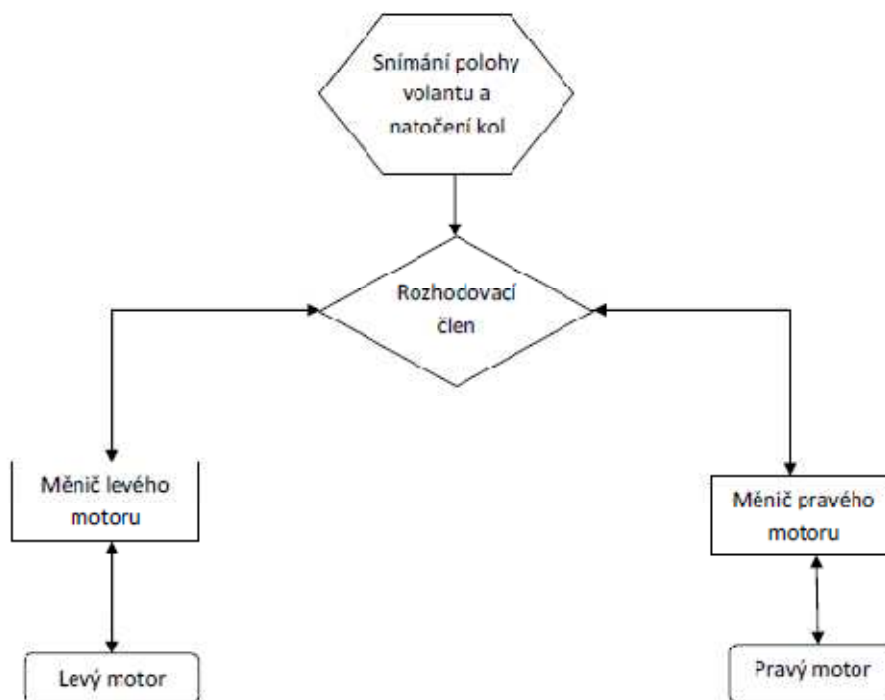


obr. 8-9 diferenciál přední nápravy<sup>42</sup>

### 8.5.2. Diferenciál zadní nápravy

Koncepční rozložení jednotlivých částí duálního hybridního pohonu E/E je řešeno tak, že mezi levou a pravou částí elektrické části duálního hybridního pohonu není realizována mechanická vazba.

<sup>42</sup> <http://www.4wheeloffroad.com>

**Funkční schéma elektronického diferenciálu:**

obr 8-10 - schéma elektronického diferenciálu

Uvedený elektronický diferenciál byl odzkoušen na experimentálním funkčním modelu elektrické motokáry EleQuad viz obr. 8-11, která byla zkonstruována na Katedře konstruování, Fakultě strojní, ZČU v Plzni.



obr. 8-11 experimentální elektrická motokára EleQuad

Uvedený elektronický diferenciál umožňuje jak lineární tak i logaritmické dělení hnací síly mezi jednotlivá kola. Při aplikaci v duálním hybridním pohonu E/E probíhá

regulace následujícím způsobem: v případě natočení volantu je snímací elektronikou vyhodnoceno natočení kol. Informace je předána do nadřazeného řízení pohonu, které ovládá měniče jednotlivých motorů. Nadřazené řízení dá příkaz měniči na vnitřní straně zatáčky k omezení výstupního proudu pro příslušný elektromotor zatímco měniči na vnější straně vozidla dá příkaz ke zvýšení výstupního proudu pro příslušný elektromotor. Při regulaci pohybu vozidla v zatáčce platí vztah:

$$F_k \text{ přímý směr jízdy} = F_k \text{ vnitřního kola při jízdě zatáčkou} + F_k \text{ vnějšího kola při jízdě zatáčkou}$$

### 8.5.3. Mezinápravový diferenciál

Při duálně hybridním módu 4x4 je nutno v zatáčkách řešit poměrné rozložení celkové hnací síly vozidla  $F_{kc}$  mezi přední a zadní nápravu. Zatímco distribuce mezi jednotlivými koly každé jednotlivé nápravy je u přední nápravy řešena klasickým mechanickým diferenciálem, u zadní nápravy elektronickým diferenciálem. Funkci mezinápravového diferenciálu v tomto případě zastává systém Clutch drive s pomocí standardního programu ESP, který omezuje poměry celkové hnací síly na jednotlivá kola tak, aby se vozidlo chovalo do krajních situací neutrálně.



## 8.6. Systém tepelné pohody kabiny posádky

Po pohonné jednotce je druhou energeticky nejnáročnější komponentou každého vozidla systém tepelné pohody kabiny posádky. Energetická náročnost tohoto systému je zejména v režimu chlazení tak vysoká, že se výrazným způsobem promítá do celkové energetické náročnosti provozu - u vozidel se spalovacím motorem jde o ovlivnění spotřeby pohonných hmot o 0,5 - 1 l paliva na 100 km<sup>43</sup>. Tento fakt tedy řadí systém tepelné pohody kabiny posádky mezi základní komponenty řešeného duálního hybridního pohonu.

Základním předpokladem, který umožní vozidlům s nízkou energetickou náročností provozu zachování teplotního komfortu je schopnost pasivního a zároveň kontinuálního běhu systému tepelné pohody kabiny posádky. Tento fakt znamená nutnost instalace autonomního zdroje energie pro uvedený systém. Při uvážení možností, které připadají v úvahu jako autonomní zdroj energie, je jednoznačným vítězem fotovoltaický článek, který je možno umístit do střechy vozidla a který je schopen svými parametry zajistit nucený oběh vzduchu uvnitř vozidla, kterým je podpořena funkce jednotlivých pasivních a aktivních prvků zajišťujících tepelnou pohodu kabiny posádky. Uvedený autonomní zdroj energie zároveň zajistí kontinuální běh systému tepelné pohody kabiny posádky, který svým stálým během snižuje požadavky na instalovaný výkon zejména klimatizační jednotky, která musí být v případě konvenčních vozidel dimenzována na velký výkon, neboť je požadováno rychlé vyklimatizování kabiny posádky na požadovanou teplotu.

Při uvažovaném řešení systému tepelné pohody kabiny posádky jsou tedy předpokládány funkce topení i ventilace. Topení je realizováno klasickým vodním okruhem, který využívá odpadního tepla z motorů. Podpůrnými systémy jsou cílené vytápění sedadel a věnce volantu. Ventilací funkce potom využívá fotovoltaického panelu jako zdroje, ventilátorů zajišťujících nucený oběh vzduchu kabinou posádky, cílenou ventilaci sedadel, tepelné odstínění kabiny posádky a samozřejmě je možno využít klasické otevření oken.

---

<sup>43</sup>Vořechovský D., ADAC: *Jak se na spotřebě paliva projeví zapnutá klimatizace?*, www.auto.cz, 15.6.2007, <http://www.auto.cz/adac-jak-se-na-spotrebe-paliva-projevi-zapnuta-klimatizace-10969>

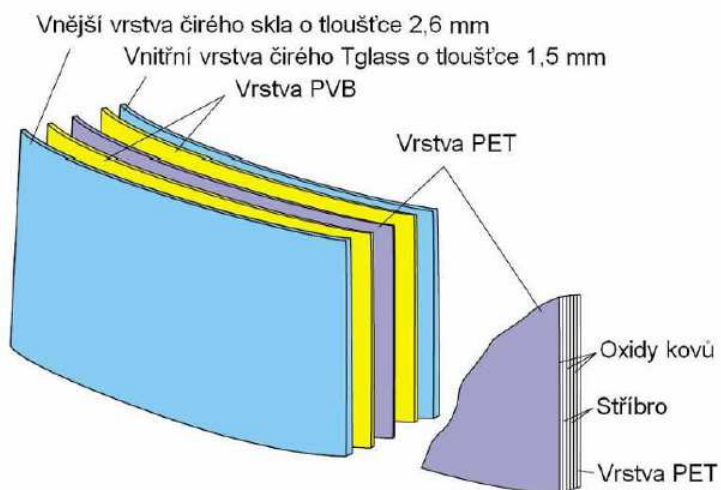
### 8.6.1. Fotovoltaický článek

Základním energetickým zdrojem systému tepelné pohody kabiny posádky je fotovoltaický článek, který je instalován ve střeše vozidla o ploše  $1 \text{ m}^2$ . Běžně dostupné fotovoltaické články dosahují následujících parametrů:  $17,5\text{V}/75\text{W}$  na  $\text{m}^2$  – výkon předpokládaného fotovoltaického článku je přepočítán z produktu firmy Ges pod katalogovým číslem GES08102651 zdroj ges.cz. Dimenzování výkonu fotovoltaického článku bylo provedeno přepočtem, u kterého bylo využito předpokladu, že pro dlouhodobé získání tepelné pohody v rodinných domech (ať u při režimu topení nebo při režimu chlazení) je doporučován  $1\text{kW}$  výkonu zařízení na  $20 \text{ m}^3$  vzduchu. Protože je předpokládána kabina posádky s maximálním objemem  $2 \text{ m}^3$  vzduchu je zvolený výkon  $100 \text{ W}$  dosažených z využití plochy střechy  $1,25 \text{ m}^2$  dostačující.

### 8.6.2. Pasivní ventilační systém vozidla

Pro možnost realizace pasivního ventilačního systému, jehož funkce je založena na bázi pasivních prvků s podporou aktivních komponent, které budou z velké části energeticky provozovány fotovoltaickým článkem je nutno dodržet několik následujících základních zásad:

- Vozidlo je nutno již v základu lakovat inteligentní barvou, která omezí ohřátí vozidla.
- Vozidlo je nutno vybavit zasklením, které omezí ohřátí vozidla (siglasol) - viz obr 8-12.
- Instalace nuceného ventilačního okruhu do vozidla, který je poháněn fotovoltaickým článkem a realizován úspornými výkonnými ventilátory.
- Instalace tepelné izolace střechy.

obr. 8-12 sklo siglasol<sup>44</sup>

## Parametry ventilátoru<sup>45</sup>

140 mm ventilátor NF-P14-FLX



obr. 8-13 ventilátor NP-P14-FLX

Rozměr 140x140x25 mm

Rychlost otáček (+/- 10%) 1200 RPM - průtok vzduchu 110,3 m<sup>3</sup>/h

Rychlost otáček s L.N.A. (+/- 10%) 900 RPM - průtok vzduchu s L.N.A. 83,7 m<sup>3</sup>/h

<sup>44</sup> [28],s.28

<sup>45</sup> redakce Alza.cz, 140mm ventilátor NF-P14-FLX, www.alza.cz, r.2012, <http://www.alza.cz/noctua-nf-p14-flx-d147593.htm>

Rychlost otáček s U.L.N.A. (+/- 10%) 750 RPM -

Průtok vzduchu 110,3 m<sup>3</sup>/h

Průtok vzduchu s L.N.A. 83,7 m<sup>3</sup>/h

Průtok vzduchu s U.L.N.A. 71,2 m<sup>3</sup>/h

Hlučnost 19,6 dB(A)

Hlučnost s L.N.A. 13,2 dB(A)

Hlučnost s U.L.N.A. 10,1 dB(A)

Statický tlak 1,29 mm H<sub>2</sub>O

Statický tlak s L.N.A. 0,77 mm H<sub>2</sub>O

Statický tlak s U.L.N.A. 0,53 mm H<sub>2</sub>O

Vstupní výkon 1,2 W

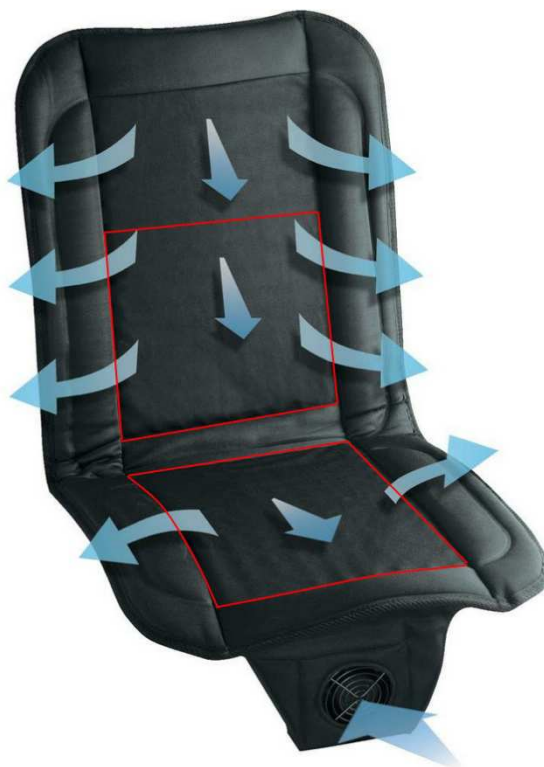
Vstupní proud 0,1 A

Napětí 12 V

## Ventilace a vytápění sedadla

- ventilace - dvoustupňová regulace – s příkonem 5 a 9W
- vyhřívání – dvoustupňová regulace 15 – 35 W s koncentrací výkonu v oblasti bederní páteře

Pro sedadla viz obr. 8-14 je možné aktivovat funkci předehřevu o výkonu 15W před nastoupením do vozidla - tato funkce se automaticky vypne po 15 minutách provozu



obr. 8-14 - schematické rozložení ventilace a vytápění sedáku sedadla<sup>46</sup>

- modře je vyznačen ventilační systém sedadla
- červeně je rámována vyhřívaná část sedadla

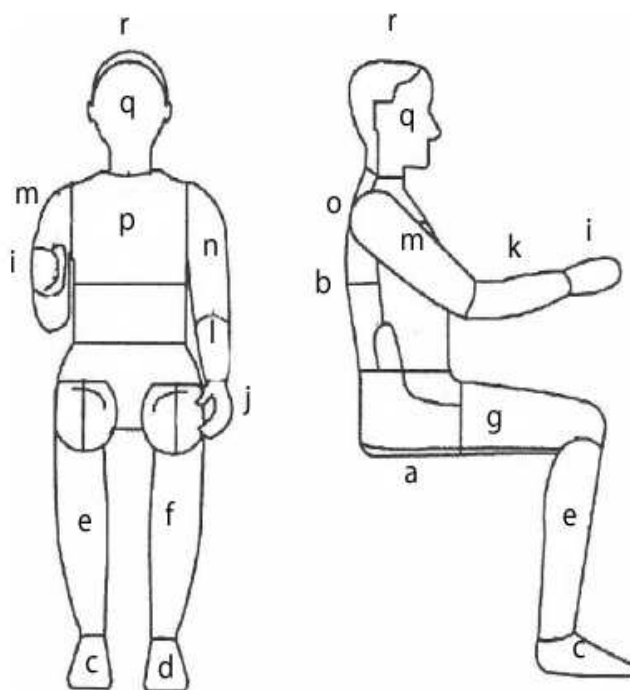
### Vyhřívání věnce volantu

Pro zvýšení tepelné pohody rukou při zimní manipulaci s volantem je instalován do věnce volantu topný článek o výkonu 10W. Doba spuštění ohřevu věnce volantu je max 15 min. V případě prodloužení doby ohřevu věnce volantu jde pocit držení volantu kvalifikovat pocitovým stupněm 5 dle grafu 8-E

<sup>46</sup>Conrad, *Potah sedla od fy WAECO*, [www.conrad.cz](http://www.conrad.cz), r.2012

### 8.6.3. Určení tepelné pohody cestujících

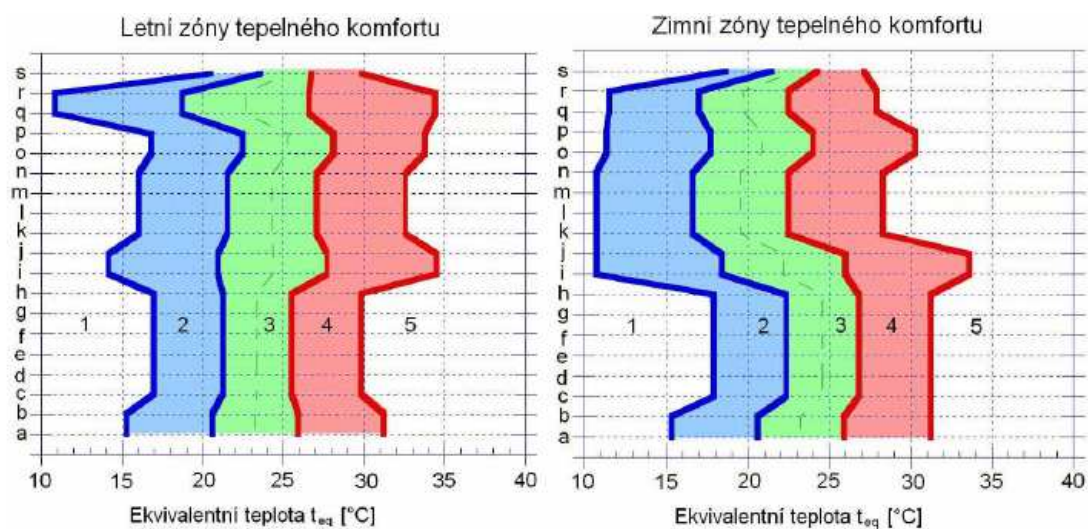
Pro správné vnímání tepelné pohody cestujícími je nutno definovat citlivost jednotlivých částí lidského těla k okolní teplotě. Jedním z možných přístupů, který ve své diplomové práci uvedl Bc. Petr Višcor [2]<sup>47</sup> je rozdělení lidského těla na 16 jednotlivých zón - viz obr. 8-15. Pro každou z těchto zón je následně v grafu letních a zimních zón tepelného komfortu viz graf 8-E přiřazeno teplotní spektrum, které vyjadřuje pocity od "velmi chladna" přes "neutrální oblast" až do pocitu "horko". Toto vnímání je u pasivního klimatizačního systému velmi důležité, neboť správným směřováním tepelného či chladicího výkonu je možno docílit žádaného tepelného komfortu při maximální úspoře investované energie do klimatizačního systému.



obr. 8-15 - rozdělení těla člověka na zóny dle vnímání pocitu tepla<sup>48</sup>

<sup>47</sup> použití informací a další zpracování dat z diplomové práce [2] bylo písemně uděleno Ing. Janem Fišerem, Ph.D. viz příloha 13

<sup>48</sup> [28],s.15



a – sedák sedadla

b – opěradlo sedadla

c – pravé chodidlo

d – levé chodidlo

e – pravé lýtko

f – levé lýtko

g – pravé stehno

h – levé stehno

i – pravá ruka

j – levá ruka

Vnímání tepla:

1 - velmi chladno

2 – přijatelné chladno

3 – neutrální oblast

4 – přijatelné teplo

5 - horko

k – pravé předloktí

l – levé předloktí

m – pravé nadloktí

n – levé nadloktí

o – část zad v okolí trapézových svalů

p – hrud'

q – obličej

r – temeno hlavy

s – celé tělo

graf 8 -E hodnocení tepelné pohody, jak je vnímána lidským tělem<sup>49</sup>

<sup>49</sup> [28],s.16

Dle grafu 8 - E je nevhodnější na palubě vozidla udržovat teplotu, která ve stupnici vnímání tepla odpovídá hodnotě 3 - neutrální oblast. Tento stav vyhovuje většině společnosti. Určení procentuální nespokojenosti pasažérů s teplotou na palubě vozidla je možno provést pomocí indexu PPD, který je závislý na předpokládaném stupni tepelné pohody (PMV). Závislost mezi indexem PPD a předpokládaným stupněm tepelné pohody (PMV) je zobrazena v grafu 8-F. Stupeň 0 - tedy neutrálně v tomto případě odpovídá teplotě, která byla definována v grafu 8-E vnímáním tepla v neutrální oblasti.

Předpokládaný stupeň tepelné pohody lze hodnotit dle následujícího kritéria:

+3 – horko

+2 – teplo

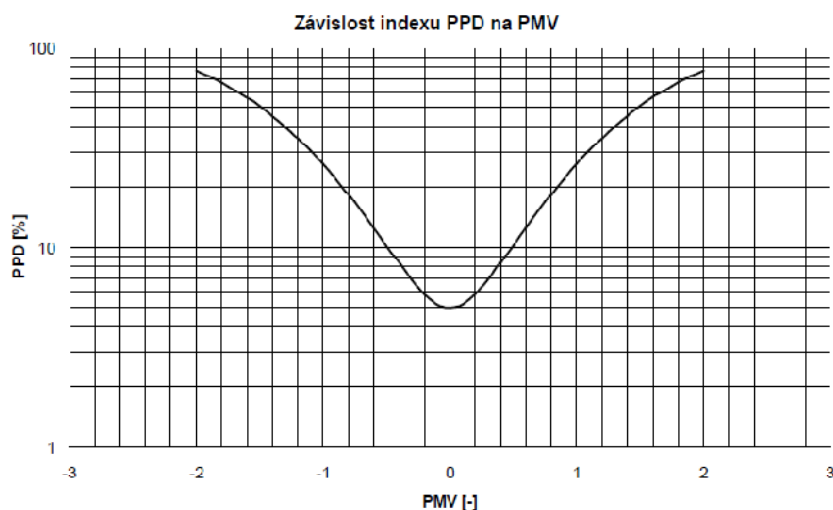
+1 – mírně teplo

0 – neutrálně

-1 – mírně chladno

-2 – chladno

-3 - zima



graf 8-F vyhodnocení počtu nespokojených osob s tepelnou pohodou<sup>50</sup>

Informace získané z grafů 8-E a 8-F potvrzují předpoklad: v nezávislosti na ročním období je pro kabinu cestujících optimální tepelná pohoda v rozsahu 20-22 °C.

<sup>50</sup> [28],s.13

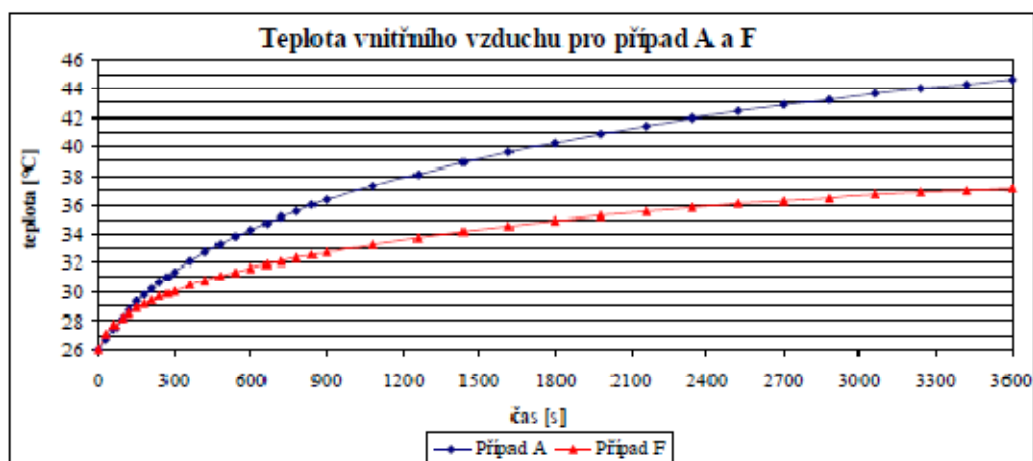


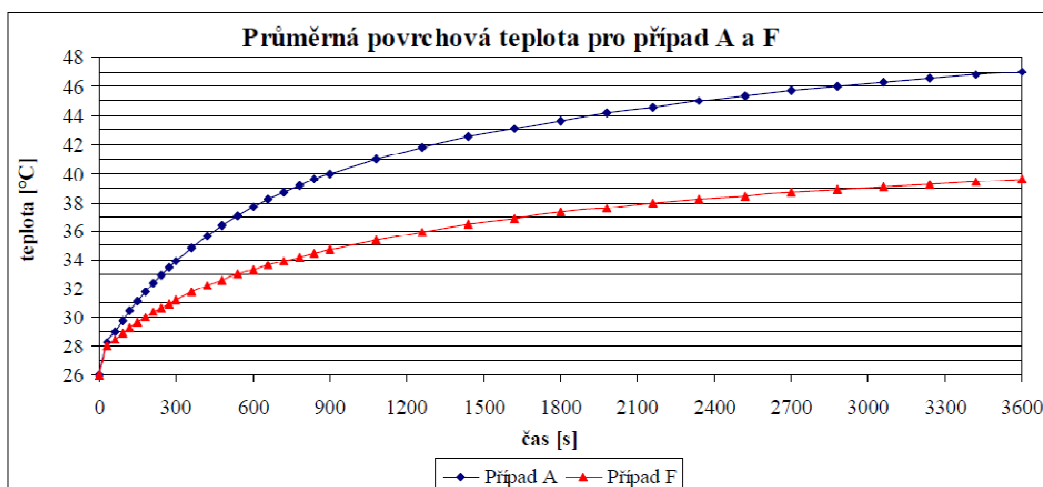
Úkolem pasivního systému tepelné pohody je tedy svým dlouhodobým působením pracovat tak, aby při vstupu cestujících do vozidla byla teplota kabiny cestujících co nejbližší teplotě odpovídající teplotě optimální tepelné pohody. Jak však graf 8-E ukazuje není této teploty dosáhnout v celém prostoru kabiny vozidla - mnohem efektivnější je soustředit se na vybrané partie lidského těla jakou jsou ruce, oblast zad a podkolenní oblast nohou.

#### 8.6.4. Distribuce a cirkulace vzduchu ovlivněná pasivním systémem tepelné pohody

Při porovnání výkonu instalovaného fotovoltaického článku ve střeše vozidla s výkonem kompresoru klimatizace osobního automobilu (cca 5kW) nelze předpokládat, že při použití jakéhokoli samotného oběhu vzduchu bude vozidlo vyventilováno na požadovanou teplotu, která je definována v grafe 8-E a 8-F. Pro usnadnění práce nuceného ventilačního oběhu je nutno vozidlo dovybavit dalšími prvky pasivního ventilačního systému, které byly specifikovány v kapitole 8.6.2. - tedy o vhodný lak, zateplení částí karoserie vozidla a zasklení vozidla selektivním sklem.

Simulací obdobných podmínek ohřátí vozidla se ve své práci zabýval i Bc. Petr Višcor z VUT v Brně, který pro simulaci ohřátí vozidla použil SW Theseus. Zjištěný rozdíl nárůstu teploty interiéru a exteriéru vozidla bez jakékoli úpravy v černé bavě (varianta A) a upraveným vozidlem (variant F) po hodině ohřívání slunečním osvitem je zobrazen v grafu 8-G resp. 8-H. Histogram porovnání obou verzí vozidla je zobrazen na obr. 8-16. Během výpočtu byl zjištěn rozdíl teploty o 7,5°C v neprospěch vozidla bez úprav.



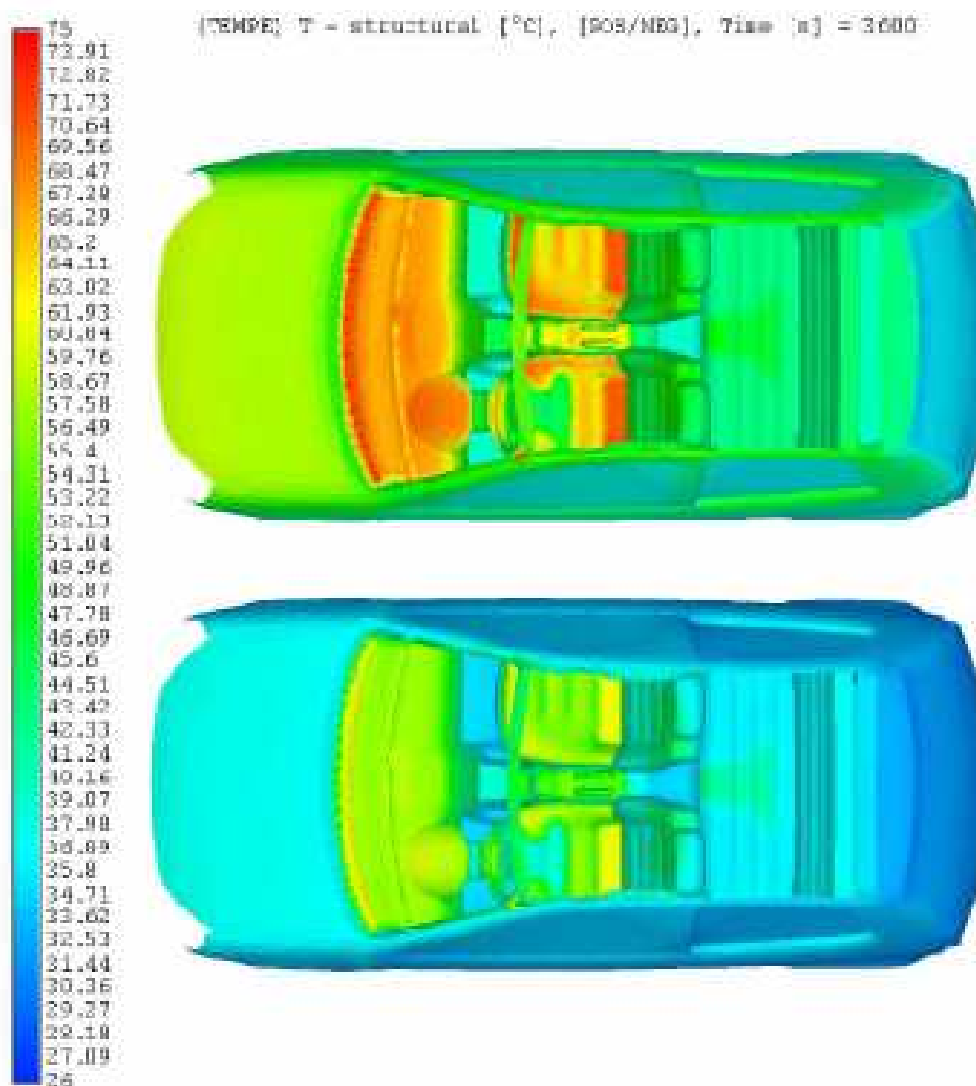
graf 8-G - srovnání vnitřní teploty vozidel bez úprav a z úpravami pro získání tepelné pohody ve vozidle<sup>51</sup>graf 8-H - srovnání vnější vozidel bez úprav a z úpravami pro získání tepelné pohody ve vozidle<sup>52</sup>**Vysvětlivky:**

Příklad A - vozidlo bez úprav

Příklad F - vozidlo s následujícími úpravami: změna laku automobilu, tepelná izolace střechy automobilu, aktivní provětrávání interiéru automobilu, selektivní zasklení vozidla.

<sup>51</sup> [28],s.51

<sup>52</sup> [28],s.51



obr 8 - 16 porovnání výsledků simulace teploty automobilu - případ A horní část obr.; případ F dolní část obr.<sup>53</sup>

Jak je z obr. 8-16 patrné, výkonost samotné pasivní ventilace je možné zvýšit instalací dalších ventilátorů do sedáků sedadel s průchodností do vzduchu do opěradel sedadel což, v porovnání s rozložením pocitu tepelné pohody, vede ke snazšímu dosažení požadovaného stupně tepelné pohody. Tento pocit je ještě možno podpořit umístěním ventilátoru i do prostoru nohou, kde je dle grafu 8-E nutno dosáhnout teploty 20 – 24°C. Další možností snížení ohřátí interiéru je volba světlých barev interiéru včetně světlé barvy přístrojové desky - tato úprava však přináší riziko nežádoucího zašpinění interiéru.

<sup>53</sup> [28],s.52

### 8.6.5. Energetické hodnocení systému tepelné pohody v pohonu E/E

Mód Chlazení:

výkon fotovoltaického článku: 100W

příkon chlazení sedadel: 36W

příkon chlazení prostoru nohou: 5W

příkon chlazení prostoru palubní desky: 5W

příkon chlazení prostoru vozidla: 5W

instalovaný ventilační příkon: 51W

Mód topení:

instalovaný výkon sedadel: 60 W – energetická náročnost předehřívacího cyklu 15Wh

instalovaný výkon volantu: 10 W

### 8.6.6. Zhodnocení systému tepelné pohody kabiny posádky

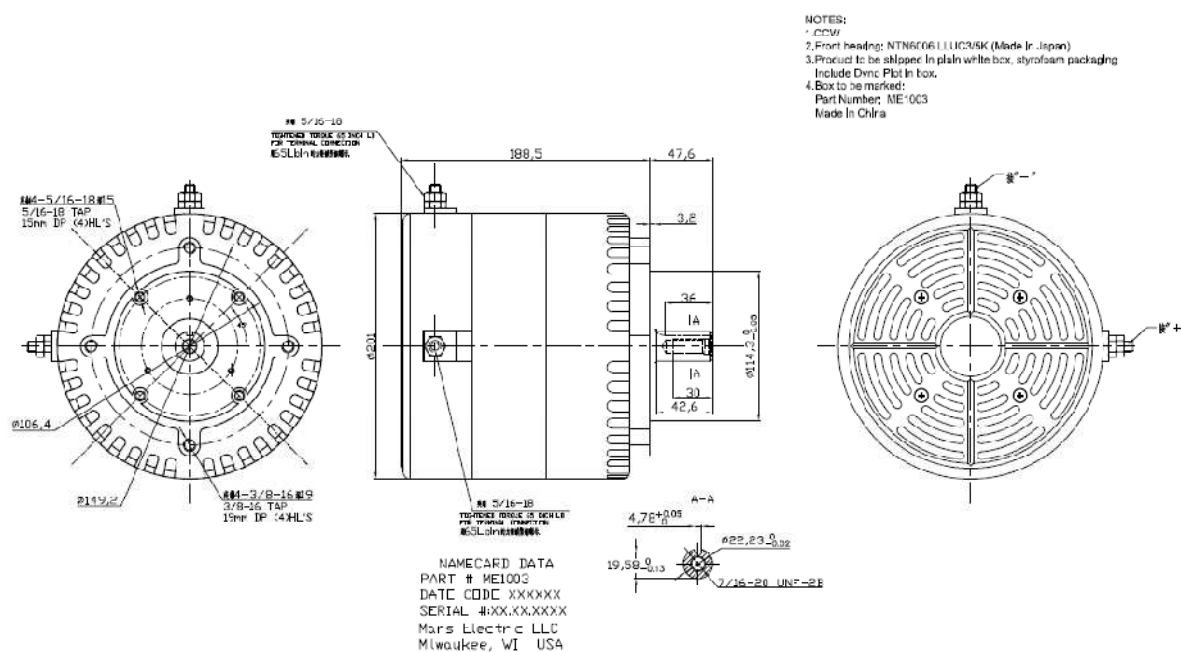
Při experimentálním provozu vozidla EHR 10 byl prakticky ověřen tepelný štít, který se skládal z laku s minimální tepelnou absorpcí a s tepelnou izolací bateriového prostoru. Tímto systémem byl vyřešen problém stoupající teploty bateriového prostoru. Nucená ventilace napájeným fotovoltaickým článkem byla autorem ověřena při provozu vozidla Škoda Superb II, kde však byl výkon ventilátorů subjektivně hodnocen jako poddimenzovaný. Simulace citovaná z diplomové práce Bc. Petra Viščora ukazuje další kritická místa, na která je třeba se soustředit, což je možné řešit sedadly s autonomními systémy ventilace a vytápění, které lze hodnotit velmi kladně – autor práce se s nimi setkal při testování vozidla AUDI A6 a subjektivně je lze hodnotit jako nejefektivnější a nejjednodušší komponentu pro dosažení maximálního stupně tepelné pohody při vysokých venkovních teplotách. Dalšími prvky, kterými lze ovlivnit teplotu uvnitř vozidla je volba vhodné barvy interiéru vozidla. V případě získání pocitu tepelné pohody v chladu je dle autora práce nejefektivnější vytápění sedadel, se kterým má autor dlouhodobé zkušenosti z vozidla Škoda Octavia, vytápění volantu - zde auto práce získal zkušenost při jízdě na motocyklu chladném počasí, kdy vytápění rukojetí 15W odporovými tělísky je dostatečné i pro prohřátí rukou přes motocyklové rukavice - dlouhodobější (nad 5min) tepelný výkon rukojetí 25W už lze označit stupněm 5 - horko dle grafu 8-E.

Systém tepelné pohody lze tedy hodnotit následujícím způsobem. Pro efektivní pasivní ventilačně topící systém jsou klíčovým prvkem autonomní ventilačně vytápěná sedadla, která jsou

doplněna vhodným lakem vozidla, selektivním prosklením vozidla a tepelnou izolací vozidla. Základní myšlenku pasivního systému tepelné pohody pak lze definovat: „**Není nutné klimatizovat či vytápět celý prostor vozidla, je nutné vytvořit tepelnou pohodu pasažérům v okolí těla dle grafu 8-E, který ukazuje, které části těla jsou nejnáchylnější na přehřátí nebo naopak na podchlazení.**“

## 8.7. Generátor pro mód sériového hybridu<sup>54</sup>

Pro funkci generátoru byl zvolen stejnosměrný stroj s permanentními magnety v režimu generátoru. Stálý výkon motoru je 11500 W, tedy při napětí 72V je schopen dodávat 160 A při 2800 ot/min. Hmotnost stroje je 20 kg. Krátkodobá přetížitelnost odběru je 400A po dobu jedné minuty. Rozměry jsou zobrazeny na obr. 8-17, průběhy parametrů generátoru jsou zobrazeny v grafu 8-I.

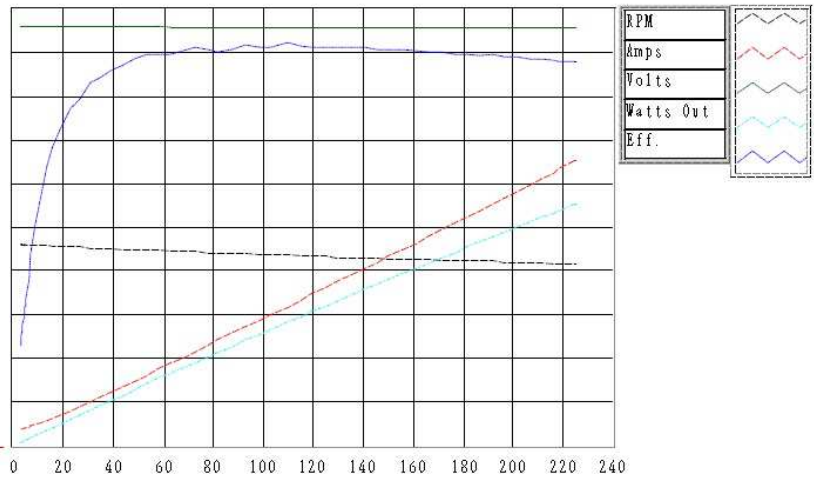


obr.8-17 rozměrový výkres generátoru módu sériového hybridu

<sup>54</sup>EV Drives, Mars ME-1003 Motor, [www.evdrives.com](http://evdrives.com), r.2012, [http://evdrives.com/mars\\_motor\\_me1003.html](http://evdrives.com/mars_motor_me1003.html)

ME1003 0005-CW 10.07.22

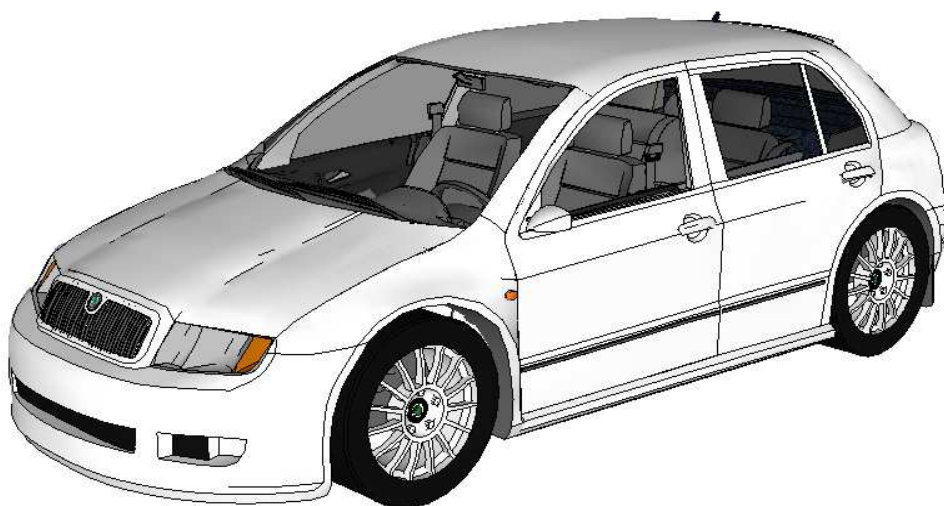
Eff.	Watts	Volts	Amps	RPM
1.00-	10000-	50-	200-	5000-
0.90-	9000-	45-	180-	4500-
0.80-	8000-	40-	160-	4000-
0.70-	7000-	35-	140-	3500-
0.60-	6000-	30-	120-	3000-
0.50-	5000-	25-	100-	2500-
0.40-	4000-	20-	80-	2000-
0.30-	3000-	15-	60-	1500-
0.20-	2000-	10-	40-	1000-
0.10-	1000-	5-	20-	500-
0.00-	0-	0-	0-	0-



graf. 8-1 charakteristické průběhy parametrů generátoru

## 9. Vnější charakteristiky vozidla osazeného pohonem E/E

Pro modelování, výpočet parametrů a výpočet spotřeby bylo jako ekvivalentní vozidlo zvoleno vozidlo s vnějšími tvary a parametry shodné s vozidlem Škoda Fabia 1. generace. Je nutno podotknout, že shoda vozidla s duálním hybridním systémem E/E a vozidlem Škoda Fabia 1. generace je **pouze** pro účely této práce a shoda je **pouze a výhradně tvarová**. Pro reálnou aplikaci vozidla s duálním hybridním systémem je k celkové konstrukci vozidla nutno přistupovat stejnou metodikou, která již byla úspěšně aplikována při projektování, konstruování a realizování elektromobilu EHR10. Tvarová shodnost počítaného vozidla s vozidlem Škoda Fabia 1. generace je naopak pro účely této práce výhodná, jelikož v případě vypočtených parametrů a energetické náročnosti provozu je možno konfrontovat a porovnat získané výsledky se širokou základnou skutečných hodnot získaných dlouhodobým provozem vozidla Škoda Fabia 1. generace v reálném provozu.



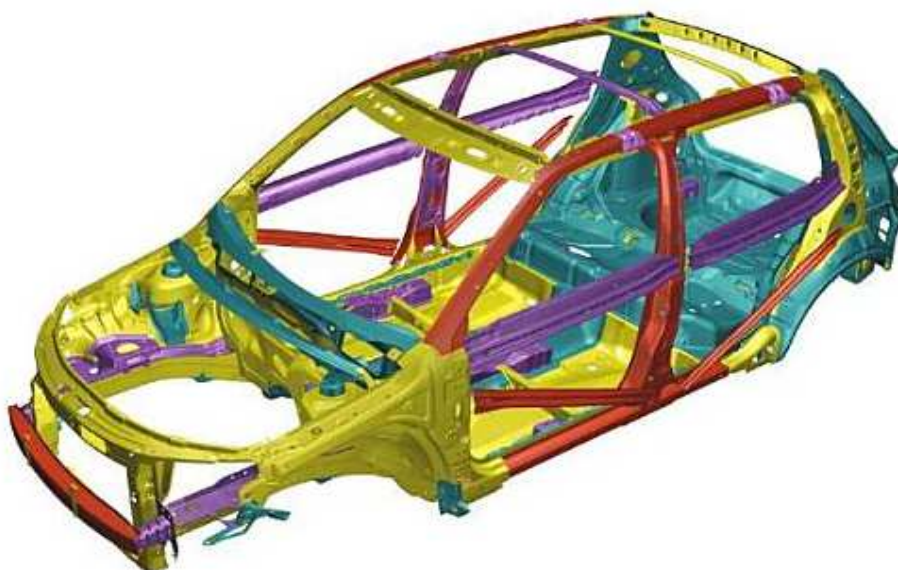
obr. 9-1 Základní systémový mode vozidla osazeného pohonem E/E získaný z volně přístupného úložiště komunity Google SketchUp

## 9.1 Výpočtové parametry vozidla vybaveného duálním hybridním pohonem E/E

Pro výpočet vnějších charakteristik a teoretické spotřeby energie vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E je uvažováno malé vozidlo (referenčně ekvivalent vozidla Škoda Fabia 1. generace), které je svojí velikostí vhodné pro městský a příměstský provoz.

### Výpočet hmotnosti

Výpočet pohotovostní hmotnosti vozidla je proveden sumací běžných komponent vozidel stejné velikosti, kdy do výsledné hmotnosti komponenty pro použití v uvažovaném vozidle osazeném duálním hybridním pohonem E/E je hmotnost původní komponenty korigována optimalizací komponenty, která se projeví změnou hmotnosti (např. nahrazení komponenty z ocele -  $7800 \text{ kg/m}^3$  za komponentu z hliníku -  $2600 \text{ kg/m}^3$ ).



obr 9-2 materiálové složení skeletu karoserie Škoda Fabia II <sup>55</sup>

Při optimalizaci je důsledně dbáno, aby tato optimalizace nebyla na úkor bezpečnosti přepravovaných osob, či jiných účastníků silničního provozu. Pro ilustraci je na obr. 9-2 zobrazen skelet karoserie vozidla Škoda Fabia 2. generace, kde je barevně rozděleno rozložení nosníků dle meze kluzu: zelenomodrá barva - běžné hlubokotažné

<sup>55</sup> Schwarz J., *Automobily Škoda FABIA II*, Grada Publishing, a.s., Praha 2008, ISBN 978-80-247-2155-2, s.38



plechy 0-180 MPa, žlutozelená barva - standardní plechy 180 - 300 MPa, fialová barva - vysoko pevnostní plechy 300 -500 MPa, hnědočervená barva - ultrapevnostní plechy 500 - 1400 MPa.

Pro analytický výpočet vnějších charakteristiky vozidla byla vyčíslena předpokládaná hmotnost všech hlavních komponent na cca 1150 kg - rozpis viz příloha 10. S natankováním paliva 20 l nádrže vychází hmotnost na cca 1170 kg, pro započtení zbylých komponent (5 % z vypočtené hmotnosti) vychází výpočtová pohotovostní hmotnost vozidla na 1230 kg.

Provedeme-li srovnání s hmotností vozidla Škoda Fabia I. generace, jehož pohotovostní hmotnost byla udávána 1060 kg s motorem 1,2 HTP je rozdíl hmotnosti 170 kg. Vzhledem k instalaci dodatečného příslušenství (baterie, elektromotory) je tato hodnota příznivá. Značný podíl na optimalizaci hmotnosti vozidla má předpokládané využití kompozitních a sendvičových materiálů v mechanické konstrukci vozidla. Nezanedbatelný podíl také přináší využití hliníkových slitin ve všech místech, kde to konstrukce vozidla umožňuje bez ztráty pevnosti a tuhosti karoserie - výchozí vozidlo Škoda Fabia používá výhradně výlisky z ocelových plechů.

Vzhledem k přejmutí vnějších tvarů vozidla Škoda Fabia 1. generace jsou vnější parametry definovány následovně: délka - 3960 mm, šířka - 1646mm, výška 1451 mm, rozvor -2462 mm, rozchod - 1419/1408 mm, světlá výška - 135mm, cx - 0,31, čelní plocha vozidla - 2,04 m<sup>2</sup>.

#### **Základní výpočtové parametry**

čelní plocha vozidla: 2,04 m<sup>2</sup> <sup>56</sup>

cx: 0,31

poloměr valení kola: 0,25 m

valivý obvod pneumatiky: 1570 mm

účinnost převodů: 0,9

valivý odpor pneumatiky: 0,01

---

<sup>56</sup> Čelní plocha vozidla byla stanovena dle součinu šířka x výška automobilu

pohotovostní hmotnost vozidla: 1230 kg

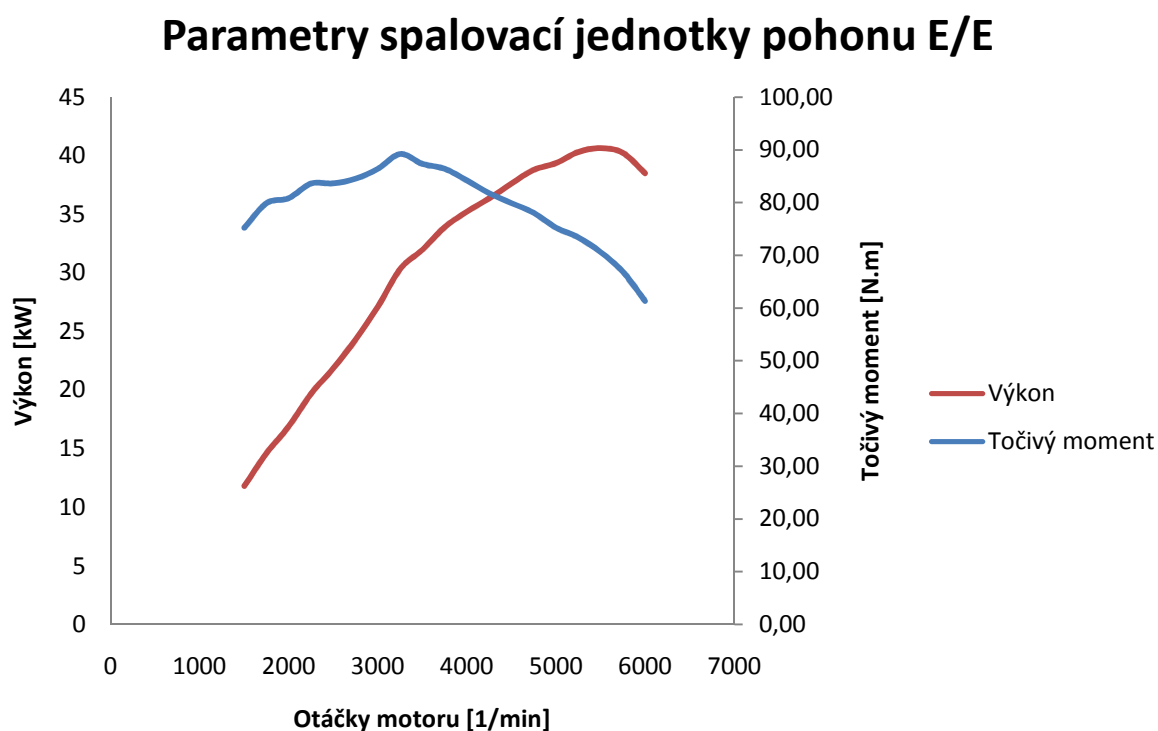
výpočtové zatížení vozidla: 190 kg

## 9.2. Vypočtené parametry vozidla osazeného duálním hybridním systémem E/E

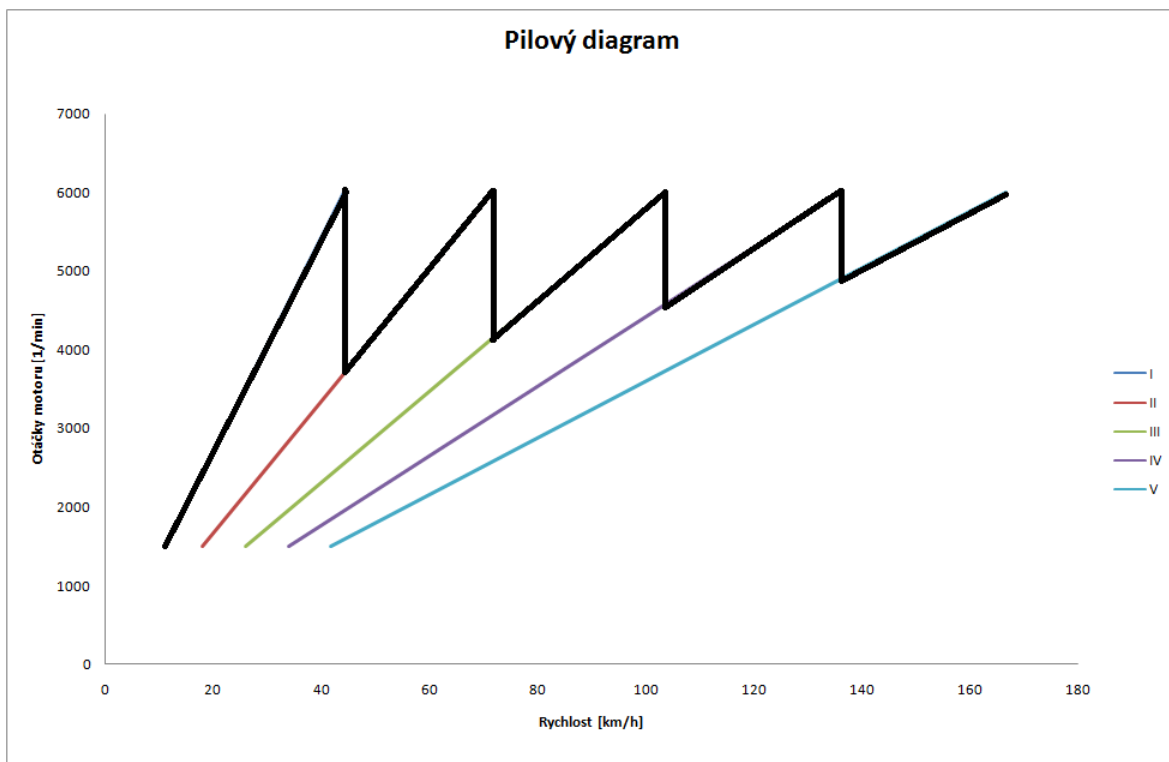
### 9.2.1. Múd - spalovací motor

Teoreticky určená maximální rychlost vozidla: 166,7 km/h

Tabulka vypočtených hodnot je zobrazena v příloze 14.



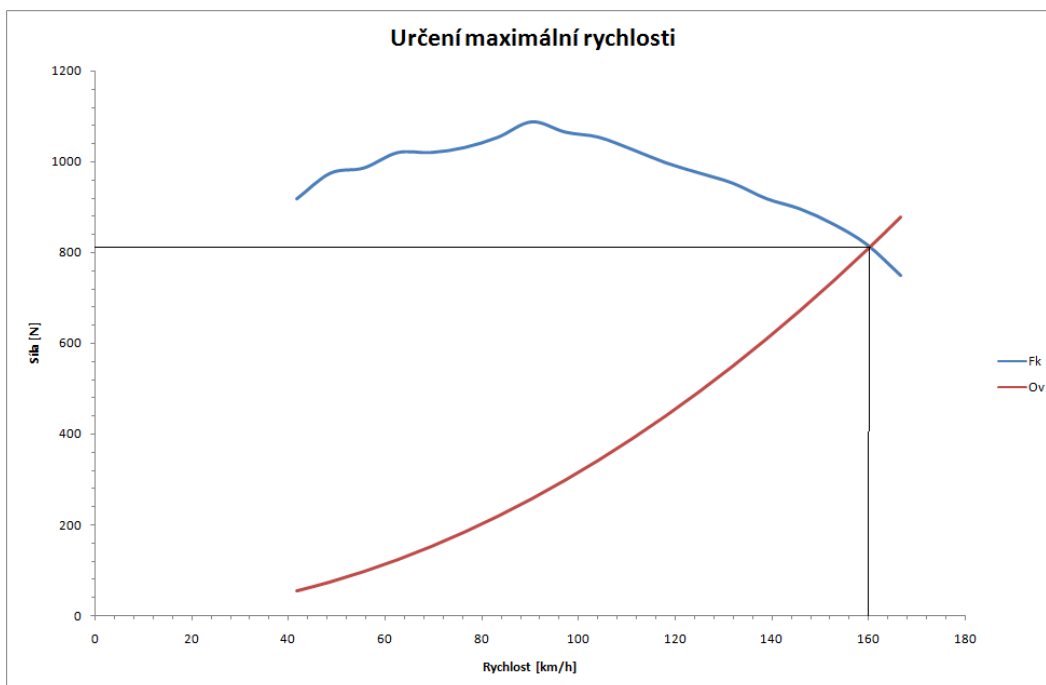
graf 9-A vnější otáčková charakteristika spalovací jednotky pohonu E/E



graf 9 -B pilový diagram módu spalovacího motoru pohonu E/E

**Určení maximální rychlosti vozidla v módu spalovacího motoru**

graficky určená maximální rychlost vozidla 160 km/h

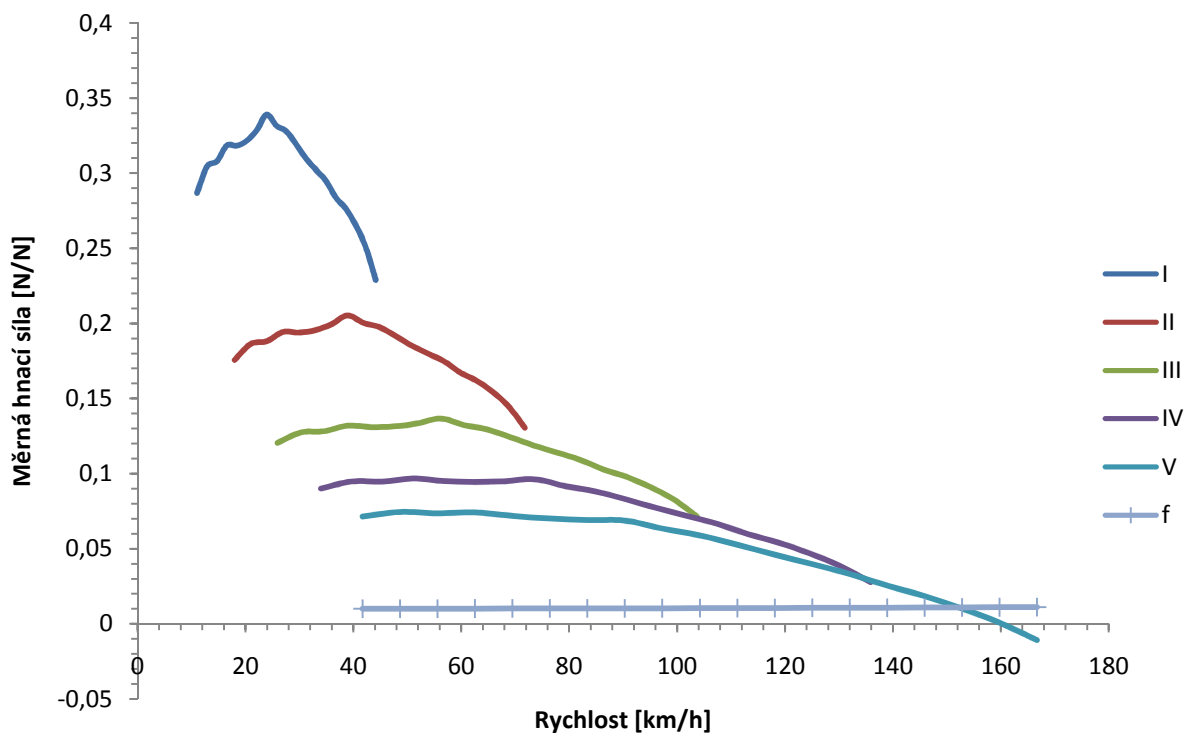


graf 9 - C grafické určení maximální rychlosti módu spalovacího motoru pohonu E/E

### Určení maximální stoupavosti vozidla v módu spalovacího motoru

$$s_{max} = p_{1max} - o_{fpmax} = 0,34 - 0,01 = 0,33 = 33\%$$

### Průběhy měrné hnací síly na jednotlivé rychlostní stupně v módu spalovacího motoru

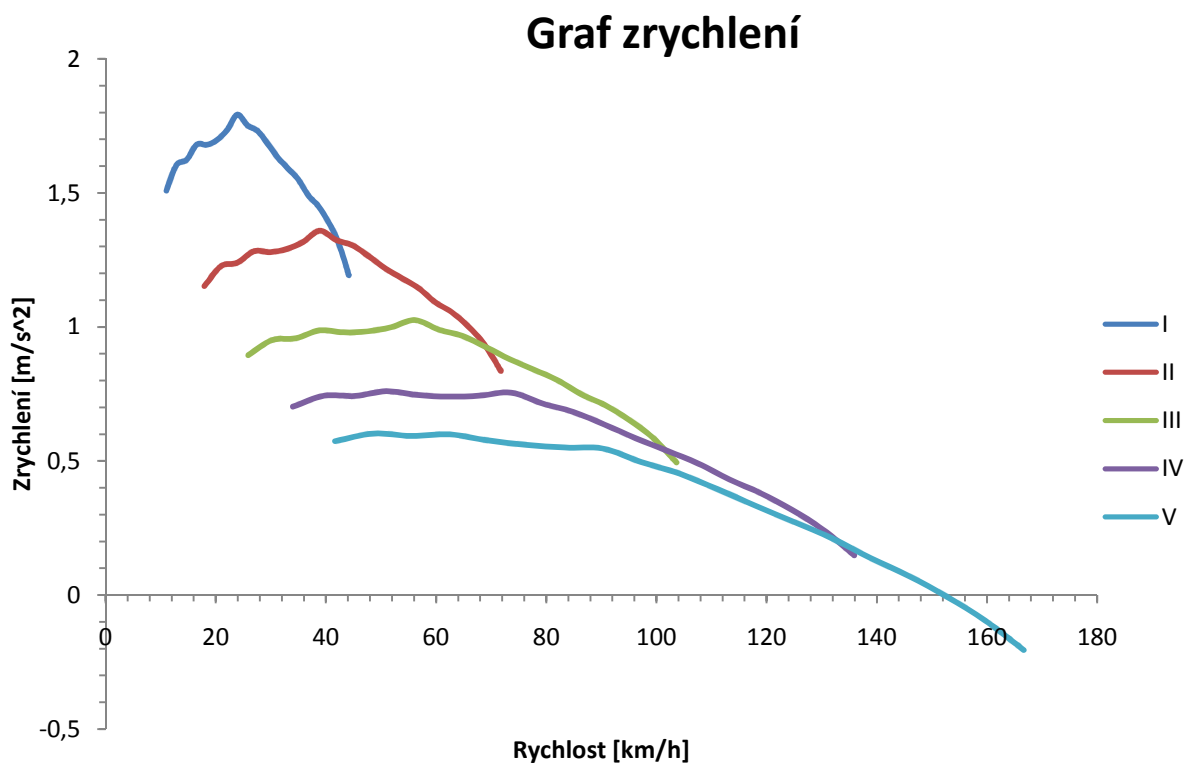


graf 9 - D průběhy měrné hnací síly módu spalovacího motoru E/E

I.	33 %
II.	18,5 %
III.	11,6 %
IV.	7,6 %
V.	5,3 %

tabulka 9 - I maximální stoupavost vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu spalovacího motoru

## Průběhy zrychlení na jednotlivé rychlostní stupně v módu spalovacího motoru



graf 9 - E průběhy zrychlení módu spalovacího motoru pohonu E/E

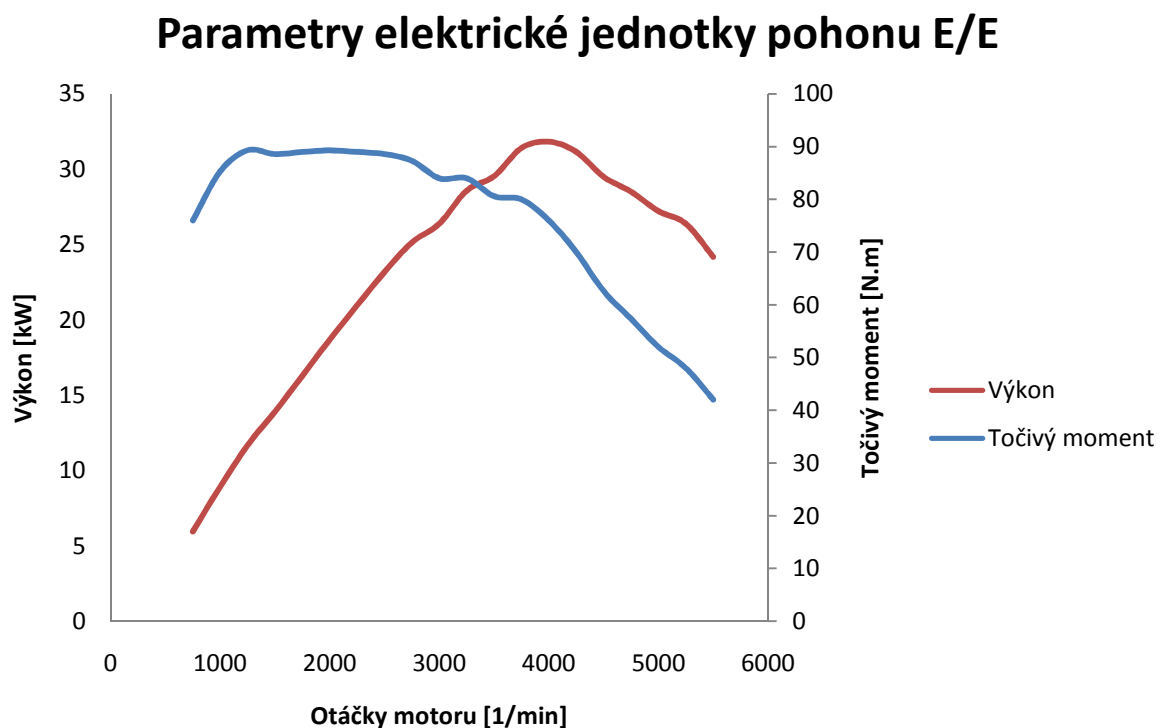
I.	1,79 $m/s^2$
II.	1,36 $m/s^2$
III.	0,99 $m/s^2$
IV.	0,75 $m/s^2$
V.	0,54 $m/s^2$

tabulka 9 - II maximální zrychlení vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu spalovacího motoru

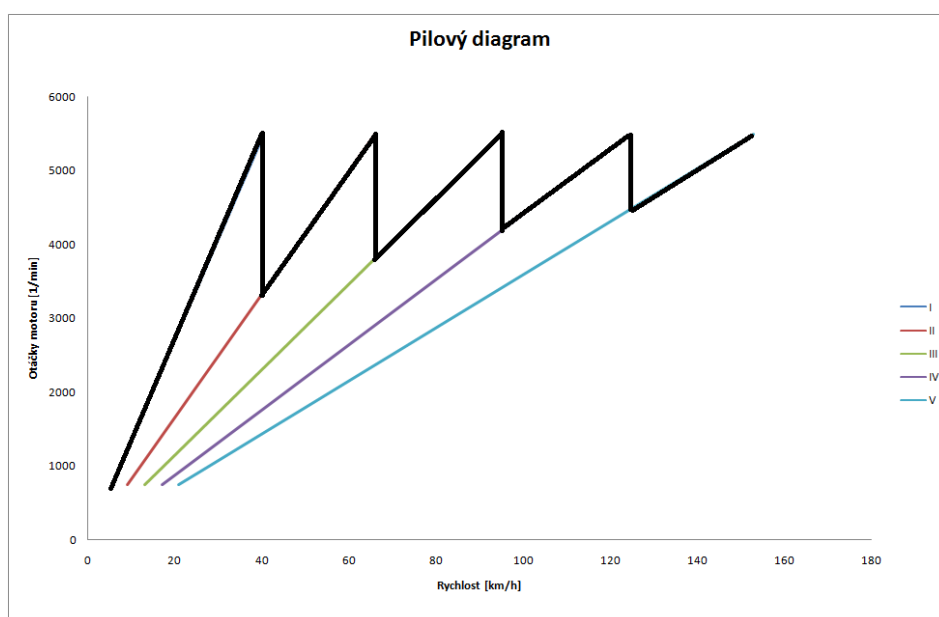
## 9.2.2. Mód elektromobil

Teoreticky určená maximální rychlost vozidla: 152,8 km/h

Tabulka vypočtených hodnot je zobrazena v příloze 15.



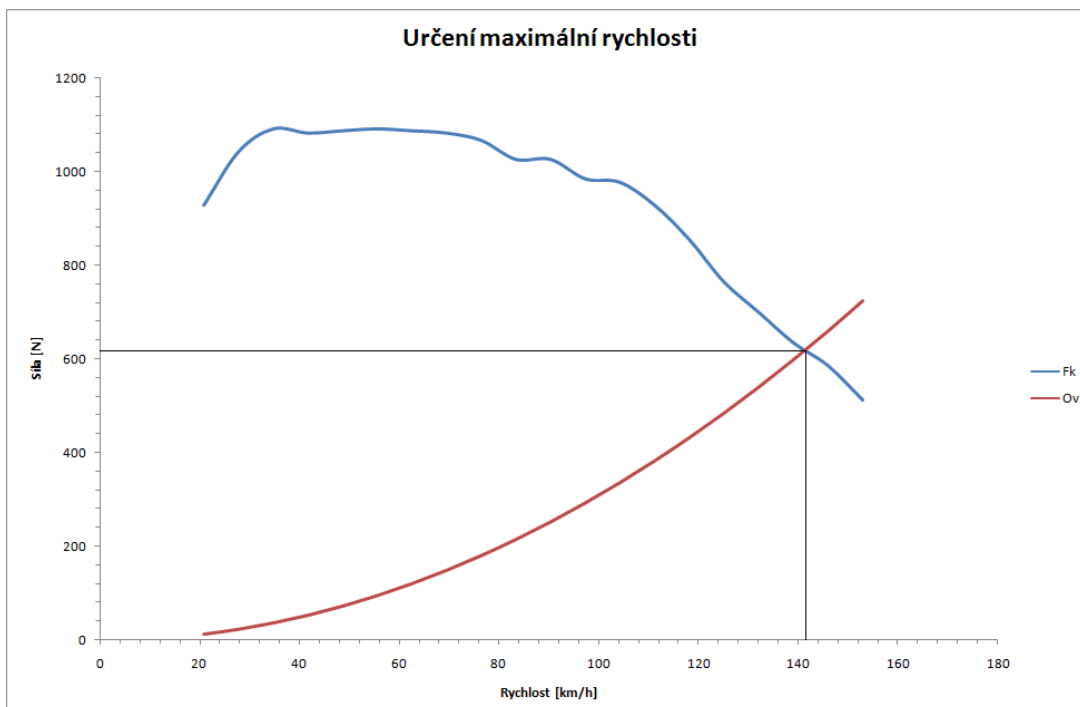
graf 9 - H vnější otáčková charakteristika elektrické jednotky pohonu E/E



graf 9 - I pilový diagram módu elektromobilu pohonu E/E

## Určení maximální rychlosti vozidla v módu elektromobilu

Graficky určená maximální rychlost 142 km/h

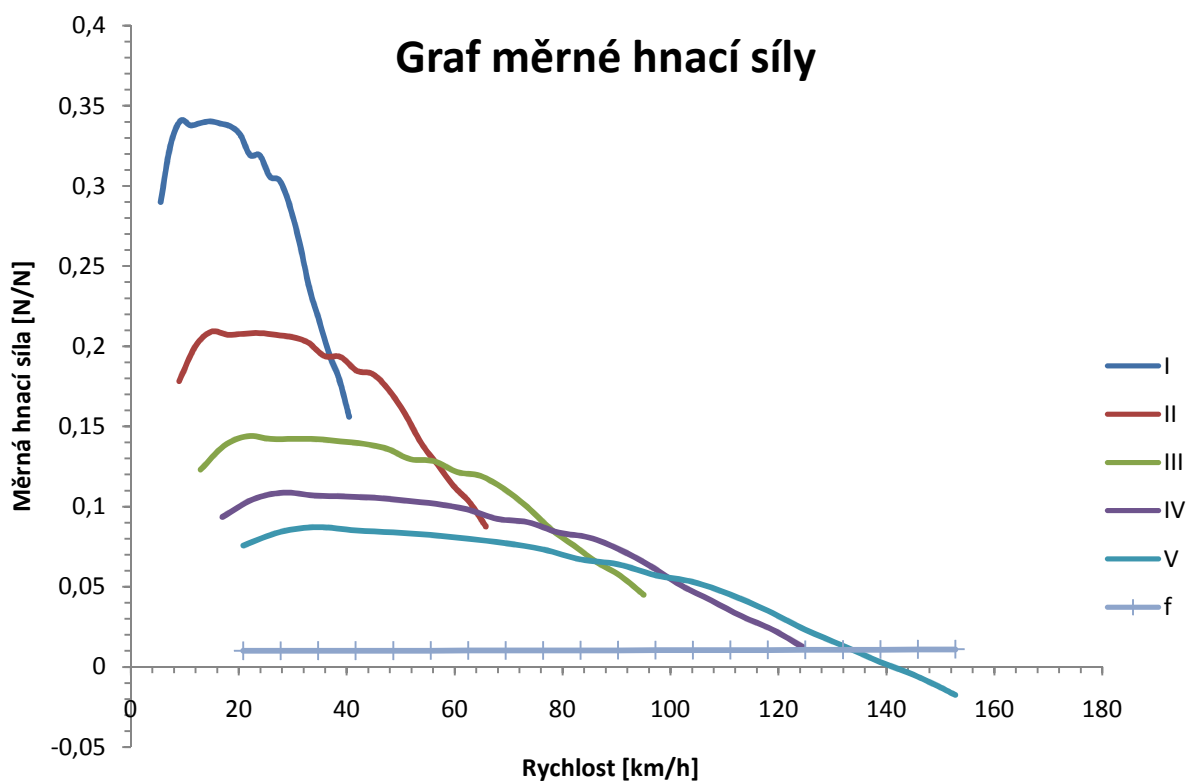


graf 9-J grafické určení maximální rychlosti módu elektromobilu E/E

## Určení maximální stoupavosti vozidla v módu elektromobilu

$$s_{max} = p_{1max} - o_{fpm} = 0,34 - 0,01 = 0,33 = 33\%$$

## Průběhy měrné hnací síly na jednotlivé rychlostní stupně v módu elektromobilu



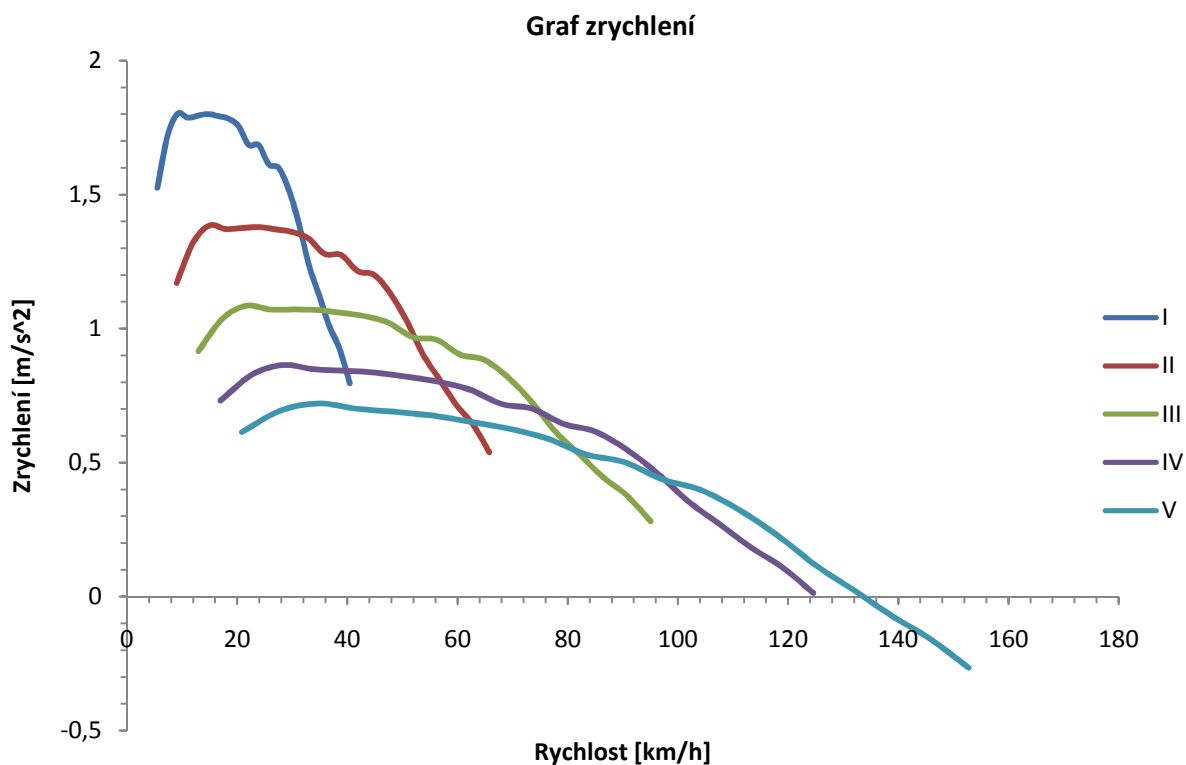
graf 9 - K průběhy měrné hnací síly módu elektromobilu pohonu E/E

I.	33 %
II.	18 %
III.	12 %
IV.	8,6 %
V.	6,7 %

tabulka 9 -III maximální stoupavost vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu elektromobilu



## Průběhy zrychlení na jednotlivé rychlostní stupně v módu elektromobilu



graf 9-L průběhy zrychlení módu elektromobilu pohonu E/E

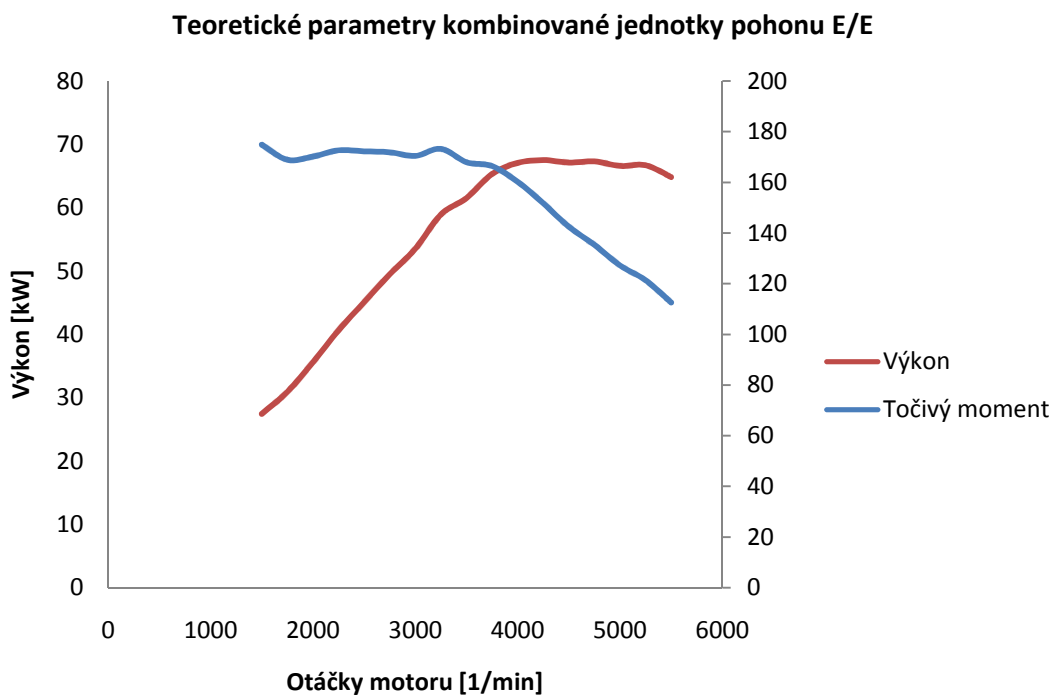
I.	1,8 m/s <sup>2</sup>
II.	1,37 m/s <sup>2</sup>
III.	1,08 m/s <sup>2</sup>
IV.	0,86 m/s <sup>2</sup>
V.	0,72 m/s <sup>2</sup>

tabulka 9 - IV maximální zrychlení vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu elektromobilu

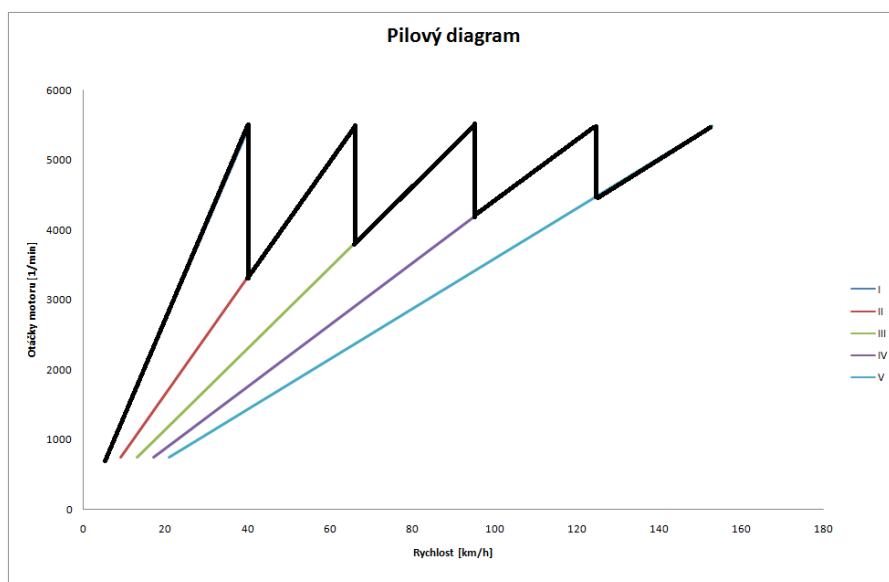
### 9.2.3. Mód paralelní hybrid 4x4

Teoretické určení maximální rychlosti: 152,8 km/h - maximální rychlost je omezena maximálními otáčkami elektromotorů

Tabulka vypočtených hodnot je zobrazena v příloze 16.



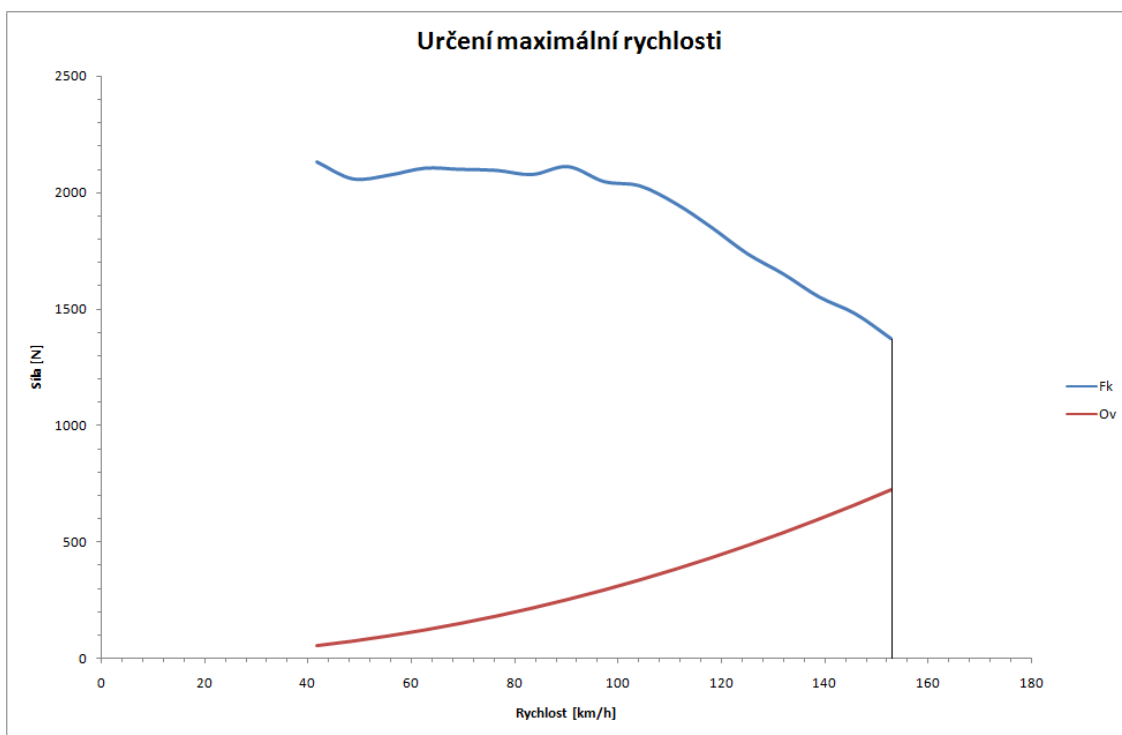
graf 9-M vnější otáčková charakteristika paralelní kombinace pohonu E/E



graf 9-N pilový diagram paralelní kombinace pohonu E/E

### Určení maximální rychlosti v módu paralelního hybridu

V daném módu je rychlost omezena maximálními otáčkami elektromotorů - je tedy 152,8 km/h

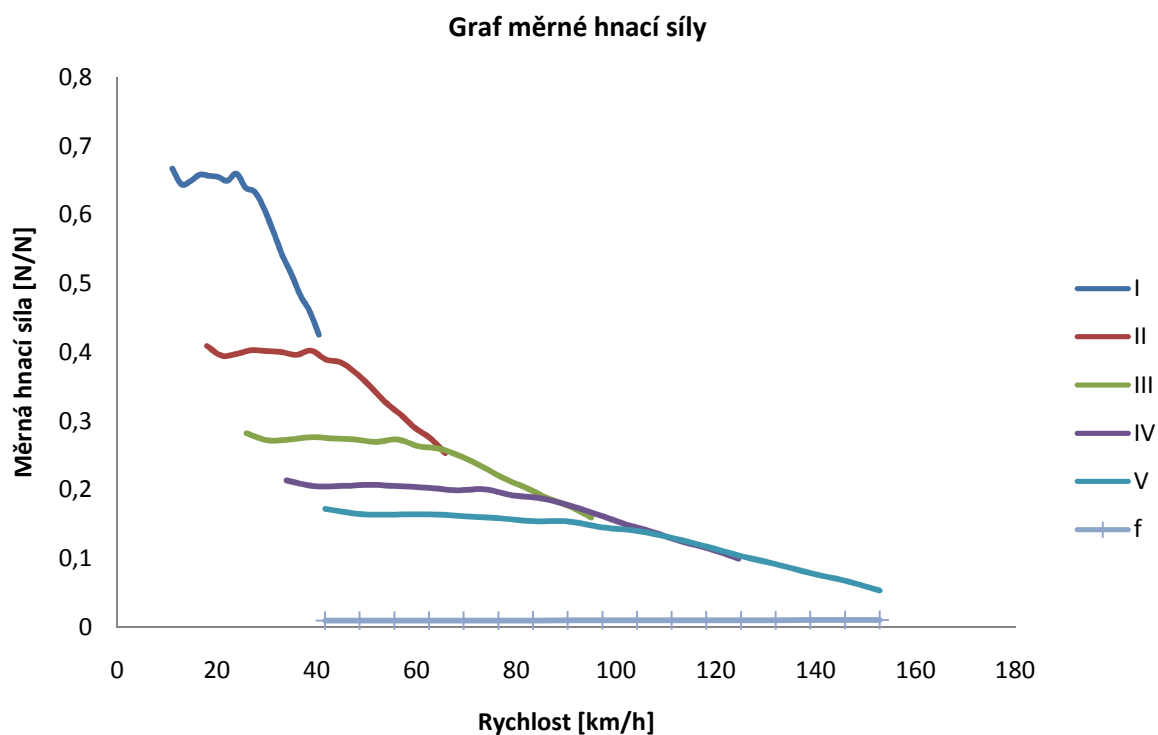


graf 9 - O grafické určení maximální rychlosti paralelní kombinace pohonu E/E

### Určení maximální stoupavosti vozidla v módu paralelního hybridu

$$s_{max} = p_{1max} - o_{fpmax} = 0,66 - 0,01 = 0,65 = 65\%$$

## Průběhy měrné hnací síly na jednotlivé rychlostní stupně v módu paralelního hybridu

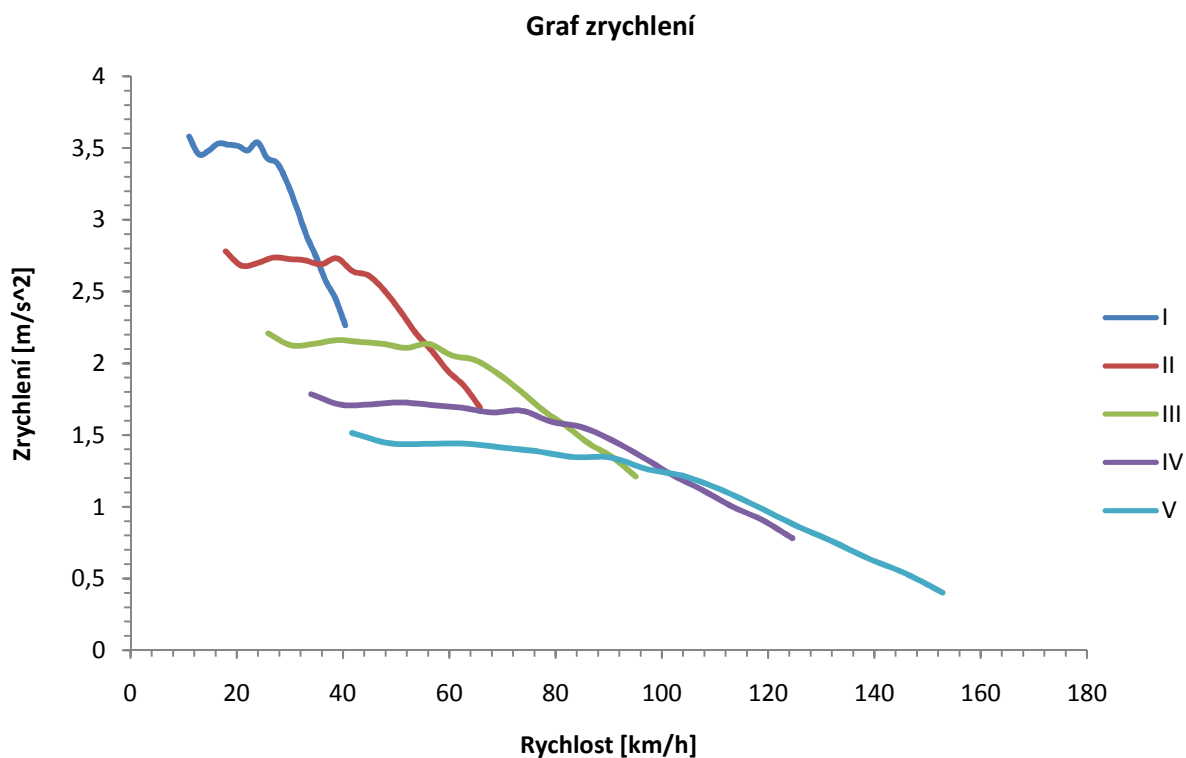


graf 9 - P průběhy měrné hnací síly paralelní kombinace pohonu E/E

<b>I.</b>	65 %
<b>II.</b>	38 %
<b>III.</b>	25 %
<b>IV.</b>	18 %
<b>V.</b>	15 %

tabulka 9 -V maximální stoupavost vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu paralelního hybridu

## Průběhy zrychlení na jednotlivé rychlostní stupně v módu paralelního hybridu



graf 9 -Q průběhy zrychlení paralelní kombinace pohonu E/E

I.	3,53 m/s <sup>2</sup>
II.	2,73 m/s <sup>2</sup>
III.	2,14 m/s <sup>2</sup>
IV.	1,72 m/s <sup>2</sup>
V.	1,44 m/s <sup>2</sup>

tabulka 9 -VI maximální zrychlení vozidla na jednotlivé rychlostní stupně v módu paralelního hybridu

## 9.2.4. Mód sériový hybrid

V tomto módu je vozidlo provozováno na elektrický pohon a spalovací motor slouží jako zdroj energie pro stejnosměrný agregát, který vozidlo pohání a zároveň přebytkem energie dobíjí palubní trakční baterii. Tento mód je brán pouze jako doplňkový pro zvláštní použití v situacích, kdy vozidlo potřebuje rychle dobít palubní trakční baterii. Vzhledem k parametrizaci generátoru je vozidlu snížena rychlost a výkon tak, aby bylo možno dobíjet palubní trakční baterii. Základní nastavení spalovacího agregátu je provedeno do oblasti nejnižší měrné spotřeby pohonných hmot, tedy do oblasti maximálního momentu motoru při plně otevřené škrtící klapce - tomuto režimu odpovídá 3250 ot/min. Požadované otáčky generátoru elektrické energie jsou 2800 ot/min, což vyžaduje zavedení převodu motor : generátor - 1,16 : 1. Sestava posléze generuje výkon 11500 W - v napěťové hladině 72V (stálý proud 160A).

Pro změnění napěťové hladiny na požadovaných 84V, což je napěťová hladina, ve které pracují elektromotory, je třeba využít transformačního vztahu :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} \rightarrow \frac{84}{72} = \frac{160}{I_2} \rightarrow I_2 = 137(A)$$

při zavedení předpokládané účinnosti měniče 0,9 je tedy k dispozici 123A proudu, které odpovídají teoretickému výkonu 10 kW soustavy, kterou je možno využít pro provoz vozidla, resp. pro dobíjení palubní trakční baterie.

Samozřejmě důsledkem takto rapidního omezení výkonu pro pohon vozidla dojde k zásadnímu omezení rychlosti, které je vozidlo schopno dosáhnout. Tento provozní mód je tak možno aplikovat například v místech, kdy vozidlo dlouhodobě prakticky stojí a je potřeba dobít trakční palubní baterii - jde například o dopravní zácpy v oblasti přivaděčů do měst atd.

## 10. Výpočet spotřeby vozidla

Pro výpočet spotřeby vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E je použito vozidlo s vnějšími tvary vozidla Škoda fabia 1. generace. Vstupem jsou vnější charakteristiky vozidla, které byly vypočítány v kapitole 9. Vnější charakteristiky vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E. Tak jako je proveden výpočet vnějších charakteristik v jednotlivých módech vozidla, tak je realizován i výpočet spotřeb - tedy separátně pro každý funkční mód. Základním pilířem určení energetické spotřeby vozidla je spotřeba v módu spalovacího motoru a v módu čistého elektromobilu. Pro výpočet byl použit identický matematický model, jaký byl použit pro výpočet spotřeby vozidla se spalovacím motorem (Peugeot 106) a elektromobilu EHR 10 - otisk obrazovky výpočtu je zobrazen v příloze 9.

Tyto dva funkční módy byly vybrány s ohledem na primární pohonné jednotky, neboť mód sériového hybridu předpokládá spotřebu elektrické energie odpovídající pohonu na čistý elektromobil a spotřeba benzínu v daném módu je dána určením minimální měrné spotřeby motoru v daném požadovaném režimu běhu - tedy takovém, aby bylo možno pohánět zdrojový generátor. Mód paralelního hybridu je opět složením základních dvou pohonných módů. Pro určení teoretické spotřeby tohoto módu je možno provést výpočet sumací energetické náročnosti jednotlivých partikulárních částí módu - tedy provozu benzínového motoru a energetické náročnosti pohonu elektromotorů. Tento přístup je však třeba brát jako striktně teoretický.

## 10.1. Výpočet spotřeby vozidla v módu spalovacího motoru

Výpočet spotřeby vozidla vybaveného duálním hybridním pohonem E/E vychází z vypočítaných vnějších charakteristik daného vozidla. Parametrizace jednotlivých fází výpočtu odpovídá cyklu NEDC - viz příloha č. 1. Samotný výpočet spotřeby pohonných hmot daným vozidlem odpovídá postupu, který je uveden v příloze 4 - Vzorový výpočet spotřeby automobilu z vypočtených vnějších charakteristik. Výpočet je realizován jak pro aktivovaný, tak i pro deaktivovaný start/stop systém.

Spotřeba v režimu volnoběžných otáček (800 1/min): - 0,61 l/hod.

Spotřeba při jízdě městským cyklem bez start/stop systému - 5,72 l/100km.

Spotřeba při jízdě městským cyklem s použitím start/stop systému - 5,53 l/100km/h.

Spotřeba za jeden městský cyklus - 0,058 l/ 100km.

Spotřeba při jízdě mimoměstským cyklem bez start/stop systému - 2,44 l/100 km.

Spotřeba při jízdě mimoměstským cyklem s použitím start/stop systému - 2,38 l/100 km.

Spotřeba za jeden mimoměstský cyklus - 0,17 l paliva - ujeto 6955m při průměrné rychlosti 62,6 km/h.

Kombinovaná spotřeba bez start/stop systému - 3,7 l/100 km.

Kombinovaná spotřeba s použitím start/stop systému - 3, 55 l/100 km.

Spotřeba paliva při stálé rychlosti 100 km/h - otáčky 3600 - spotřeba paliva 2,74 l/100 km.

Spotřeba paliva při stálé rychlosti 120 km/h - otáčky 4322 - spotřeba paliva 3,29 l/100 km.



## 10.2. Spotřeba energie v módu čistého elektromobilu

Výpočet spotřeby elektrické energie vychází z minimální síly na kolech vozidla, která je potřeba v překonání jízdních odporů. Tato síla je nadále kontrolována s vypočtenými vnějšími charakteristikami vozidla při daném provozním módu tak, aby horní hranice možného zatížení vozidla jízdními odpory nebyla překonána. Při sestavení výpočtového modelu a při následném výpočtu bylo vycházeno z následujících rovnic:

Potřebná síla na kole:  $F_H = O_f + O_V + O_S + O_Z + O_P [N]$

Valivý odpor:  $O_f = m \cdot g \cdot f [N]$

Odpor vzduchu:  $O_V = 0,05 \cdot S \cdot c_x \cdot v^2 [N]$

Odpor ve zrychlení:  $O_Z = m \cdot a \cdot (\text{souč rotačních hmot}) [N]$

Odpor ve stoupání  $O_S$  a odpor způsobený tažením přípojného vozidla (přívěsu/návěsu)  $O_P$  nebyl při výpočtu uvažován.

Výpočet potřebného příkonu elektromotorů:

$$P = \frac{F_H \cdot v}{3600} \cdot \frac{1}{n} [Ws]^{57}$$

Pro pohyb ustálenou rychlostí byl výpočet spotřeby realizován dle následujícího vztahu:

$$P_{(t)} = P \cdot t [Ws]$$

Pro akceleraci byl výpočet realizován identickým postupem, který byl použit pro analýzu akcelerace při osazení vozidla spalovacím motorem - tento postup je popsán v příloze 4.

Pro převod mezi jednotkami Ws a kWh bylo použito následujícího vztahu:

$$1J = 1Ws$$

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ} = 1,343 \text{ hph}$$

<sup>57</sup> Krzyzanek R., *Výpočet spotřeby elektrických lokomotiv*, pkms.webzdarma.cz, r.2000, <http://pkms.webzdarma.cz/elokomotivy.html>

Během výpočtu spotřeby vozidla poháněného elektrickou energií byla zjištěna kolize požadavků zkoušky.

Výpočet byl realizován dle parametrizace NEDC - viz příloha 1. Při výpočtu mimo městského cyklu (EUDC) v činnostech 14 a 16 došlo požadovanou silou  $F_H$  k překročení maximální síly na kole  $F_k$ . Toto bylo způsobeno překročením dynamických parametrů, které je vozidlo v dané kombinaci pohonu dosáhnout - jde o požadované hodnoty zrychlení 0,24 resp. 0,28  $m/s^2$ . V těchto dvou činnostech bylo nutno výpočet modifikovat tak, aby mohl dále probíhat. Modifikace byla realizována opuštěním požadované hodnoty zrychlení pro činnost 14 a 16 dle metodiky cyklu NEDC. Toto zrychlení bylo nahrazeno maximálním možným zrychlením, kterého je vozidlo v dané situaci dosáhnout - toto zrychlení je specifikováno křivkami v grafu 9-L. Důsledkem realizace výše popsaného opatření je snížení dynamiky vozidla. Výpočtem byly zjištěny následující hodnoty:

spotřeba elektrické energie při jízdě městským cyklem: 138 Wh/km - 13,8 kWh/100 km

spotřeba elektrické energie při jízdě mimoměstským cyklem: 145 Wh/km - 14,5 kWh/100 km

spotřeba elektrické energie při jízdě cyklem NEDC: 142 Wh/km - 14,2 kWh/100km

Vypočítané hodnoty převedené na litry paliva natural 95:

*(pro převod je použito 1l N95=46,4 MJ=8,89kWh)*

přepočítaná spotřeba paliva při jízdě městským cyklem: 1,55 l/100km

přepočítaná spotřeba paliva při jízdě mimoměstským cyklem: 1,63 l/100km

přepočítaná kombinovaná spotřeba paliva: 1,6 l/100km

### 10.3. Výpočet spotřeby paliva pro mód sériového hybridu

Z hlediska spotřeby pohonných hmot je nejvhodnější zvolit pracovní oblast motoru takovou, kdy je dosaženo minimální měrné spotřeby pohonných hmot. Vzhledem ke způsobu využití spalovacího motoru v tomto módu lze však předpokládat zejména jeho využití v pásmu jeho maximální síly - tedy v pásmu otáček okolí maximálního točivého momentu. Jelikož je v tomto módu předpokládáno plné využití potenciálu motoru, je nutno realizovat výpočet pro plně otevřenou škrtkící klapku - v tomto případě lze předpokládat, že v danou chvíli bude při tomto zatížení dosaženo minimální možné měrné spotřeby motoru - viz příloha 5.

Otáčky motoru odpovídající dosažení maximálního točivého momentu: 3250 1/min

$$\dot{m}_s = \frac{p_1 \cdot (3 \cdot V_s)}{r \cdot T_1} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot (3 \cdot 258,82 \cdot 10^{-6})}{287 \cdot 293,15} \cdot \frac{3250}{120} = 0,025[\text{kg/s}]$$

Tepelný průtok:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{př} &= \dot{m}_s \cdot c_{vzduch} \cdot (T_3 - T_2) + \dot{m}_s \cdot c_{pvzduch} \cdot (T_4 - T_3) = \\ &= 0,025 \cdot 717,5 \cdot (2778,16 - 694,54) + 0,025 \cdot 1004,5 \cdot (4240 - 2778,16) \\ &= 74085,4[\text{W}] \end{aligned}$$

Výpočet teoretické spotřeby paliva:

$$\dot{m}_{pal} = \frac{\dot{Q}_{př}}{q_n} = \frac{74086,4}{46400000} \cdot 3600 = 5,8[\text{kg/h}] \Rightarrow 7,66[\text{l/h}]$$

Resumé sériového hybridního pohonu:

V uvedeném režimu je nutno převodovat generátor tak, aby bylo dosaženo maximálního výkonu - v tomto režimu musí být získán dostatek elektrické energie jak pro pohyb vozidla, tak i pro dobíjení palubní trakční baterie. Jak je však z výpočtu patrné, jde o režim provozně drahý a tedy nouzový. Tento režim je použitelný zejména ve chvíli, kdy vozidlo je před vjezdem do bezemisní zóny, jeho baterie je nedostatečně nabitá a není možno ji dobít z jiného zdroje. Potom je možno omezit rychlost pohybu a funkcí umožňující rychlé nabíjení palubní trakční baterie provést nouzové dobíjení vozidla tak, aby byl umožněn jeho pohyb v bezemisní zóně.

## 10.4. Výpočet spotřeby paliva pro mód paralelního hybridu

Vzhledem k systémovému návrhu pohonu je možno určit spotřebu vozidla v daném módu pouze při rozložení hnacích sil 50:50 mezi přední a zadní nápravu. Výsledná hodnota je tak pouze informativní a odpovídá pouze základnímu nastavení vozidla neboť systém Clutch drive umožňuje využití síly nápravy 0 - 100% pro každou nápravu.

Teoretické výsledné hodnoty pro dané rozložení hnacích sil:

spotřeba při jízdě městským cyklem bez start/stop systému - 3,7 l/100km

spotřeba při jízdě městským cyklem s použitím start/stop systému - 3,6 l/100km

spotřeba při jízdě mimoměstským cyklem bez start/stop systému - 2,1 l/100 km

spotřeba při jízdě mimoměstským cyklem s použitím start/stop systému - 2 l/100 k

kombinovaná spotřeba bez start/stop systému - 2,65 l/100 km

kombinovaná spotřeba s použitím start/stop systému - 2,6 l/100 km

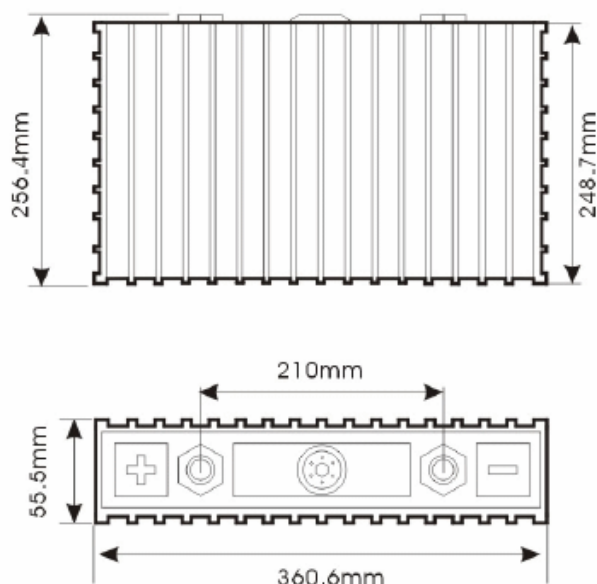
## 11. Dimenzování palubní trakční baterie

Na základě výpočtu energetické náročnosti provozu vozidla s duálním hybridním pohonem v módu čistého elektromobilu – kapitola 10 je možno dimenzovat velikost palubní trakční baterie. Požadovaný dojezd na jedno nabití u duálního hybridního pohonu je min 100 km – neboť lze předpokládat nájezd cca 300 km/týden – tedy 60 km denně, což je uváděný průměrný denní nájezd vozidel, která jsou v EU používána soukromými osobami k pravidelné cestě do zaměstnání. 100 km odpovídá tedy 1/3 týdenní ujeté vzdálenosti, čímž je splněna běžná praxe známá např. z vozidel Toyota Prius, kdy doplňující pohon ke spalovacímu motoru je v režimu funkce přibližně 1/3 ujeté vzdálenosti.

Pro dimenzování trakční baterie je třeba akceptovat následující požadavky:

- palubní trakční baterie musí mít vhodné zástavbové rozměry, aby mohla být umístěna do vytyčeného prostoru, který je umístěn mezi podlahou kabiny pro cestující a mezi podvozkem vozidla
- palubní trakční baterie musí být dostatečně lehká – je nutné zvolit takovou technologii baterie, aby nedošlo k nežádoucímu nárůstu pohotovostní hmotnosti vozidla
- palubní trakční baterie musí být schopna zajistit dostatečný zdroj energie pro ujetí 100km při dané konfiguraci vozidla při jízdě dle parametrizace cyklu NEDC.

Na základě výše uvedené jednoduché specifikace a vzhledem k získaným zkušenostem z elektromobilu EHR 10 byla pro řešené vozidlo s duálním hybridním pohonem E/E zvolena trakční baterie vyskládaná z jednotlivých článků, které využívají technologii LiFePO<sub>4</sub> od firmy Thunder Sky. Předností této technologie je cenová dostupnost, vhodný tvar umožňující požadovanou zástavbu a dostatečná výkonnost.



obr. 11-1 Rozměrový náčrt článku s parametry 3,2V 200Ah od firmy Thunder Sky<sup>58</sup>

**Parametry článku<sup>59</sup>:**

pracovní napětí 2,5 – 4,5 V

maximální dobíjecí proud 2C

standardní dobíjecí proud 0,5C

maximální vybíjecí proud 2CH

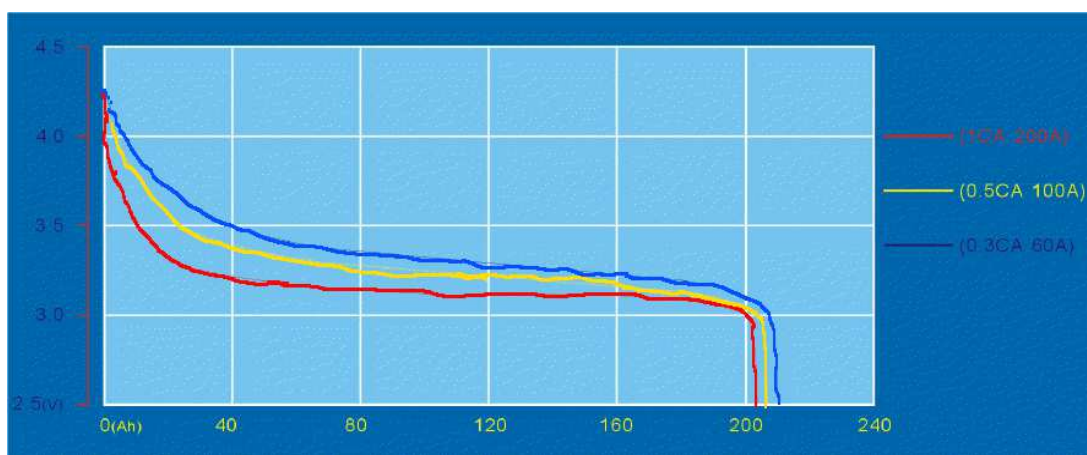
maximální krátkodobá vybíjecí zátěž (pulzy) 10C

hmotnost jednoho článku: 6,9 kg

životnost článku udávaná výrobcem : 3000 cyklů (80%DOD), 4000 cyklů (70%DOD)

<sup>58</sup> Sedlák J., *Lithiové články 4.2V - FiFePO4*, [www.auto88.cz](http://www.auto88.cz), 19.9.2008, <http://www.auto88.cz/forum/showthread.php?t=8>

<sup>59</sup> Sedlák J., *Lithiové články 4.2V - FiFePO4*, [www.auto88.cz](http://www.auto88.cz), 19.9.2008, <http://www.auto88.cz/forum/showthread.php?t=8>



obr. 11 - 2 Vybíjecí charakteristika článku s parametry 3,2V 200Ah od firmy Thunder Sky<sup>60</sup>

### Parametrizace a dimenzování palubní trakční baterie

Požadované napětí – min 84 V – při jmenovitém napětí článku 3,2V odpovídá 26,25 ks článků – je tedy potřeba min. 27 článků pro snazší instalace celé komponenty palubní trakční baterie do vymezeného prostoru je požadován sudý počet článků, tedy výsledný počet článků trakční baterie – 28 ks, odpovídající 89,6V při jmenovitém napětí článku 3,2 V.

Uvedená palubní trakční baterie je zdrojem obsahujícím 17 920 Wh energie, vzhledem k nutnosti zajištění úplného nevybití trakční palubní baterie, při dodržení 20 procentní rezervy kapacity baterie (pro zajištění maximální životnosti baterie) znamená 14336 Wh, které jsou k dispozici pro provoz vozidla.

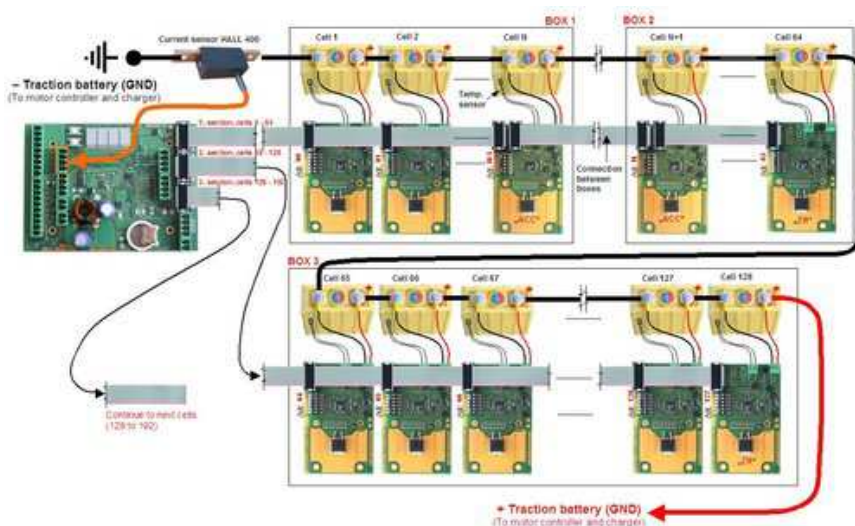
Hodnota 14 336Wh vyhovuje podmínce ujetí 100km/h vozidlem řešeným v systémovém návrhu. Neboť dle výsledků získaných v kapitole 10.2. vozidlo daných parametrů potřebuje na ujetí 100km průměrně 14 300 Wh při jízdním cyklu odpovídajícímu specifikaci definované NEDC. Pro uvedený mód může být navíc zaveden předpoklad provozu zejména v bezemisních zónách měst - tedy energetická náročnost provozu vozidla v módu čistého elektromobilu bude odpovídat spíše městské části cyklu NEDC - cyklu ECE, kde vypočtená energetický náročnost provozu vozidla činí 13 800 Wh/100km – v tomto režimu je tedy palubní trakční baterie dimenzována na cca 104 km dojezdu.

<sup>60</sup> Sedlák J., *Lithiové články 4.2V - FiFePO4*, www.auto88.cz, 19.9.2008, <http://www.auto88.cz/forum/showthread.php?t=8>

Z hlediska životnosti je možno baterii dimenzovat pouze na cyklické opotřebení standardizovanými vybíjecími a nabíjecími cykly. Vliv počasí a tepelné namáhání není možno zcela predikovat, prodloužení životnosti baterie je možné docílit pravidelnějším nabíjením, kdy s nižším vybíjením baterie stoupá cyklická životnost baterie. Vzhledem k předpokládané morální a finanční životnosti vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E, která je určena na deset let, lze předpokládat, že při najetí 100 km/týden na elektrický pohon je vozidlo schopno absolvovat svůj životní cyklus bez výměny baterie. Teoreticky na životní cyklus vozidla bude potřeba: 520 dobíjecích cyklů, během kterých vozidlo ujede 52 000 km na čistě elektrický pohon.

Pro dosažení maximální možné životnosti palubní trakční baterie, je nutno provést tepelnou izolaci bateriového prostoru, která díky možnosti ventilace omezí zimní prochladnutí palubní trakční baterie v maximální možné míře a zároveň umožní zabránit letnímu přehřátí palubní trakční baterie.

Uvedená technologie trakční palubní baterie (LiFePO<sub>4</sub>) musí být doplněna na každém článku monitorovacím systémem, který zajišťuje rovnoměrné nabíjení a vybíjení každého článku trakční palubní baterie, čímž zabezpečuje efektivní využití elektrické energie akumulované v každém článku trakční palubní baterie.



obr. 11-3 ilustrativní příklad zapojení monitorovacího systému palubní trakční baterie<sup>61</sup>

<sup>61</sup> Thunder sky, *Instalační návod systému BMS RT*, 2010



## 12. Slaboproudá instalace vozidla

Součástí povinné výbavy každého vozidla je zákonem stanovené osvětlení. V případě vozidel s nízkou energetickou náročností provozu, a zejména u elektromobilů, je nutné ušetřit každý vynaložený watt elektrické energie. Pro řešeného vozidlo je tedy nejvýhodnější použít následné kombinace vnějšího osvětlení vozidla – zadní sdružené svítilny a směrová světla s využitím technologie LED, hlavní světlomety s denním svícením je vhodné kombinovat v technologii LED a xenonového světlomety.



obr. 12 - 1 zadní sdružená led svítilna<sup>62</sup>



obr. 12 - 2 přední sdružený xenonový světlo s led denním světlo<sup>63</sup>

<sup>62</sup> Hertian K., *Zadní lampy LED čiré - Škoda Fabia*, [www.kmautodoplanky.cz](http://www.kmautodoplanky.cz), r.2012, <http://www.kmautodoplanky.cz/tuning/5444/14496/zadni-lampy-led-cire-koda-fabia.htm>

<sup>63</sup> Tichý M., *Přední světla devil eyes DRL škoda Fabia, čerené*, [inara.cz](http://inara.cz), r.2012, [inara.cz/1010499-predni-svetla-devil-eyes-drl-skoda-fabia--cerne.html](http://inara.cz/1010499-predni-svetla-devil-eyes-drl-skoda-fabia--cerne.html)

## 12.1 Energetická náročnost provozu slaboproudé elektroinstalace vozidla

Z hlediska osaditelnosti odpovídají odběry následujícím parametrům:

denní svícení 12V 2x0,4 A - 5 W - Wh na hodinu

potkávací světlomet xenon 85V 2x 0,41 A -70 W → 12V 2x 2,9 A - 70W - účinnost měniče 0,9 - 80 Wh na hodinu provozu

dálkový světlomet: 12V 2x4,5 A - 110 Wh na hodinu provozu

odběr obrysových světel: 12V 0,1 A - 1,2 Wh na hodinu provozu

odběr brzdových světlometů: 12V - 2 x 0,7 A - 16,8 Wh na hodinu provozu

odběr mlhového světlometu: 12V - 0,1A - 1,2Wh na hodinu provozu

odběr couvacích světlometů:12V - 2 x 0,1A - 2,4Wh na hodinu provozu

směrové světlometry: 12V - 1, 33 A na stranu - 16Wh na hodinu provozu

osvětlení interiéru: 12V 0,1 A - 1,2 Wh na hodinu provozu

osvětlení palubní desky: 12V 0,1 A - 1,2 Wh na hodinu provozu

stěrače:12V - 3,6A - 43,2 Wh na hodinu provozu

ostřikovače: 12V - 4A - 48 Wh na hodinu provozu

stahování oken: 12V - 15A - 180Wh na hodinu provozu pro jedno okno

houkačka 12V - 3,5 A - 42Wh na hodinu provozu

alternátor – 14V 70 A

12V palubní baterie 12V/44Ah

výkon fotovoltaického článku: 100W - dodáno 100Wh energie za hodinu provozu

příkon chlazení sedadel: 36W - odběr 36Wh za hodinu provozu

příkon chlazení prostoru nohou: 5W - odběr 5Wh za hodinu provozu

příkon chlazení prostoru palubní desky: 5W - odběr 5Wh za hodinu provozu

příkon chlazení prostoru vozidla: 5W - odběr 5Wh za hodinu provozu

Mód topení:

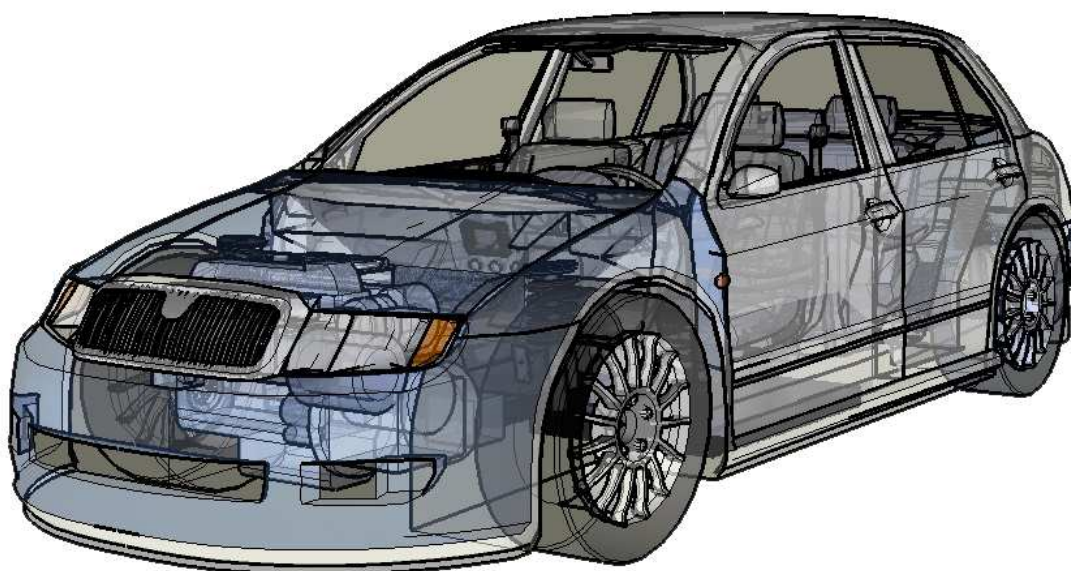
instalovaný výkon sedadel: 60 W – energetická náročnost předehřívacího cyklu 15Wh

instalovaný výkon volantu: 10 W - odběr 10Wh za hodinu provozu

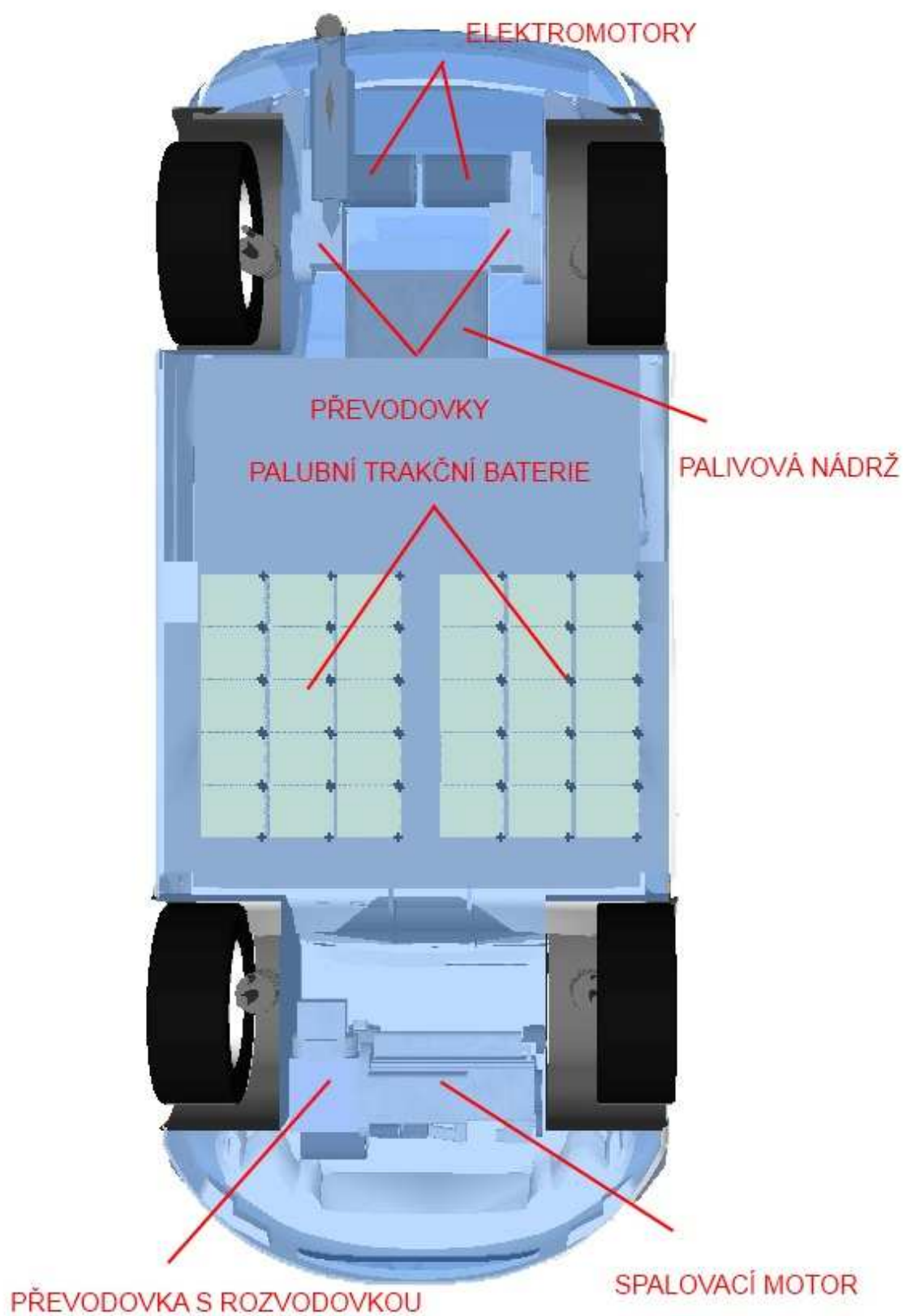
## 13. Předpokládané rozmístění komponent duálního hybridního systému E/E na palubě vozidla

V následující kapitole je zobrazena základní obrazová dokumentace ideového rozložení komponent duálního hybridního pohonu E/E na palubě vozidla. Níže uvedený model byl vytvořen ve volně dostupném SW Google SketchUP verze 6.-8. Pro model byly použity komponenty, které jsou pro nekomerční využití volně dostupné v komunitě uživatelů SW Google SketchUp.

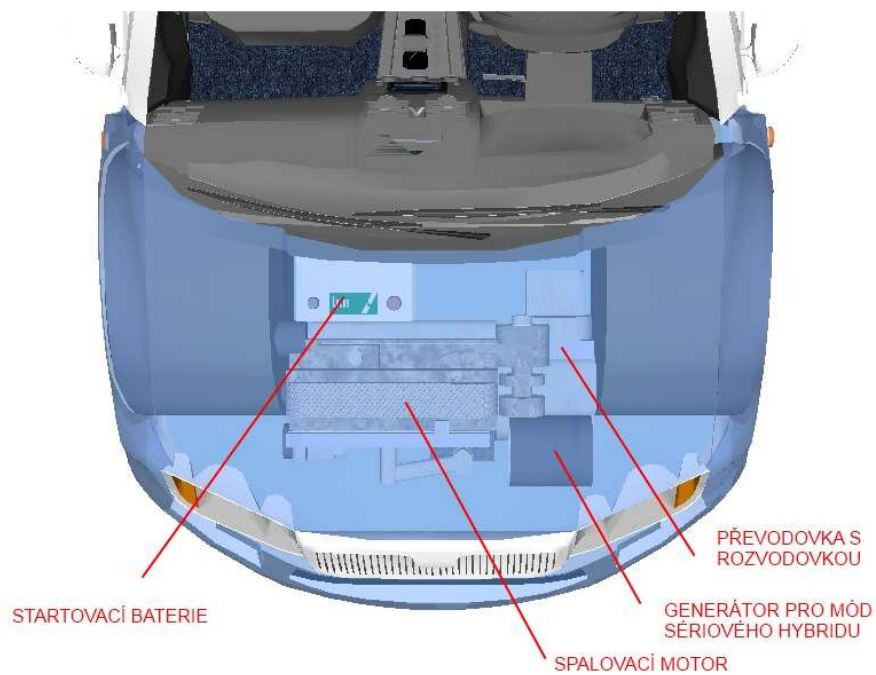
V přední části vozidla je umístěn spalovací motor s převodovkou a rozvodovkou pro přední nápravu. V této části je také integrován generátor elektrické energie pro mód sériového hybridu. Pod kabinou posádky je umístěna palubní trakční baterie s příslušenstvím. V prostoru pod zadními sedadly a pod zavazadlovým prostorem je umístěna palivová nádrž a kompletní elektrický pohon, včetně převodovek, který je svázán se zadní nápravou.



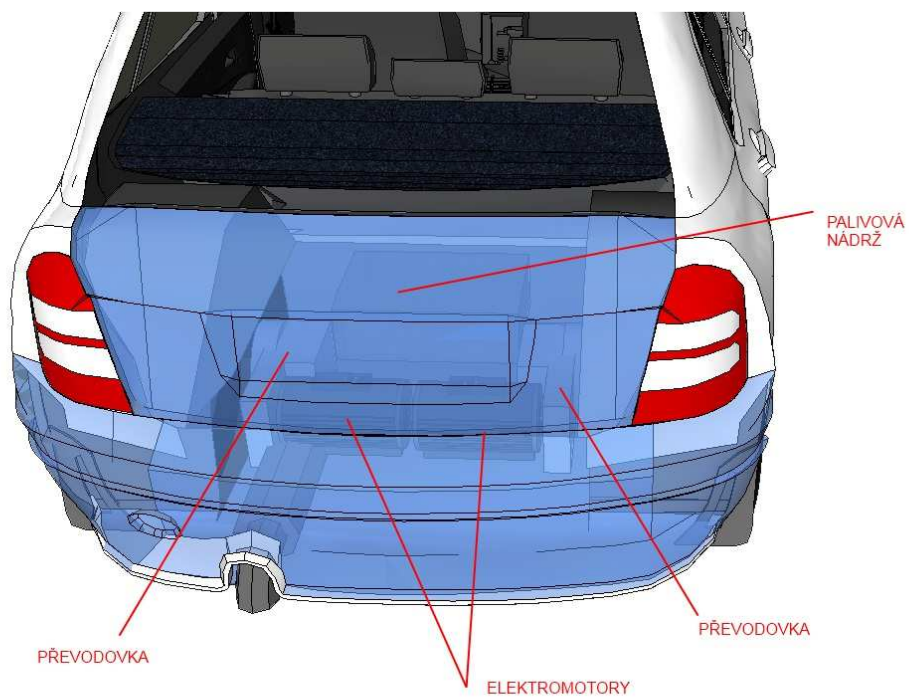
obr. 13-1rentgenový snímek řešeného vozidla



obr.13-2 spodní pohled na rozložení komponent



obr.13-3 rozložení komponent v motorovém prostoru



obr.13-4 rozložení komponent v zadní části vozidla

## 14. Shrnutí systémového návrhu vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E

V kapitolách 9.-13. je uveden systémový návrh vozidla, které je osazeno duálním hybridním pohonem. Modulární koncepce duálního hybridního pohonu byla vytvořena s důrazem širokou univerzálnost použití.

Pro řešený systémový návrh vozidla jsou předpokládány dva základní funkční módy duálního hybridního pohonu E/E. Prvním funkčním módem je mód spalovacího motoru, jehož vnější parametry jsou vypočteny v kapitole 9.2.1. Druhým základním módem je mód elektromobilu, jehož vnější parametry jsou vypočteny v kapitole 9.2.2. Velmi zajímavým módem pro daný vůz je mód paralelního hybridu, umožňující pohon 4x4, jehož vnější parametry jsou vypočteny v kapitole 9.2.3. V tomto módu je dosaženo výsledné vnější otáčkové charakteristiky celkové pohonné jednotky graf 9-M, která svými parametry umožňuje vozidlu o výpočtové hmotnosti 1420 kg dosáhnout zajímavých jízdních výkonů. Mód sériového hybridního pohonu (kap. 9.2.4.) je sice v dané konfiguraci vozidla možný, ale z hlediska četnosti využití je brán spíše jako mód doplňkový zejména ve chvílích, kdy je nutno urgentně dobít palubní trakční baterii a není k dispozici externí zdroj elektrické energie. K této volbě bylo přistoupeno z důvodů zaměření práce, kdy byla řešena příjemná charakteristika pohonných jednotek a celkového pohonu především z hlediska uživatelského komfortu. Odlazení běhu spalovacího motoru jako zdroje pro elektrický generátor nebylo tedy provedeno a spotřeba pohonných hmot pro daný funkční mód (kap 10.3.) byla provedena jen pro stav plně otevřené škrtkové klapky, čemuž odpovídá spotřeba 7,66 l/hod provozu.

O přenos hnací síly mezi pohonnými jednotkami a koly se starají tři identické převodovky s postupným řazením. Rozložení převodových stupňů tabulka 8-II bylo zvoleno kompromisně s ohledem na předpokládané využití daného vozidla (městský a příměstský provoz), tedy tak, aby bylo dosaženo výborné stoupavosti vozidla (na 1. rychlostní stupeň až 65 % v módu paralelního hybridního pohonu 4x4) a na dosažení maximální rychlosti min 130km/h.

V kapitole 10. byl proveden výpočet spotřeby vozidla v jednotlivých funkčních módech. Získané výsledky byly dosaženy pomocí výpočtu jízdních odporů vozidla na

modelovém cyklu, který svými parametry odpovídá cyklům ECE, EUDC, NEDC. Módy spalovacího motoru a duálního hybridu požadavkům těchto cyklů beze zbytku vyhověly. Mód elektromobilu nevyhověl požadavkům cyklu EUDC v činnostech 14 a 16. V tomto případě byl výpočet dokončen tak, že byla doba cyklu 14 a 16 prodloužena - výpočet pokračoval po křivce zrychlení vozidla vyplývající z grafu 9-L.

Vyhodnocení vypočtené energetické náročnosti provozu v jednotlivých funkčních módech:

### **Mód spalovací motor**

Vypočtené hodnoty v cyklu ECE poukazují na malý rozdíl spotřeby pohonných hmot při využití start/stop systému v porovnání s jízdou bez tohoto systému (výpočtový rozdíl cca 0,2 l/100km). Velikost tohoto rozdílu odpovídá skutečnosti, na kterou často poukazují ve svých člancích nejen odborníci<sup>64</sup>, ale i praktické zkušenosti řidičů, kteří jsou s funkcí tohoto systému často nespokojeni. Vypočtená hodnota spotřeby vozidla v cyklu NEDC (3,7 l/100km) potom plně reflektuje vývoj energetické náročnosti provozu vozidel se spalovacími motory tak, jak jej predikuje i člen představenstva firmy BOSCH - Peter Tyroller.<sup>65</sup>

### **Mód elektromobil**

Vypočtená hodnota energetické náročnosti v provozu dle NEDC cyklu (14,2 kWh/100km) je plně v souladu se spotřebou např. u vozidla Škoda Octavia Green e-Line, se kterou bylo při dojezdové zkoušce dosaženo průměrné spotřeby 11,5 kWh/100km<sup>66</sup>.

### **Mód sériový hybrid**

Tento mód je v řešeném návrhu brán jako doplňkový slouží k nouzovému urgentnímu dobití palubní trakční baterie v případě absence externího zdroje elektrické energie. Výpočet spotřeby spalovacího motoru ve funkci pohonného agregátu byl proveden pouze pro režim plně otevřené škrtkové klapky motoru v otáčkách odpovídajících maximálního točivého momentu. Výsledkem je spotřeba 7,66 l/1motohodinu, při které je

---

<sup>64</sup> Olivík P., *Otázka dne: jsou systémy Start - Stop přínosem, nebo zbytečností?*, [www.autorevue.cz](http://www.autorevue.cz), 7.5.2011, [http://www.autorevue.cz/otazka-dne-jsou-systemy-start-stop-prinosem-nebo-zbytecnosti\\_2](http://www.autorevue.cz/otazka-dne-jsou-systemy-start-stop-prinosem-nebo-zbytecnosti_2)

<sup>65</sup> Dragoun A., *Bosch: Za tři roky bude spotřeba pod tři litry "běžná"*, [www.auto.cz](http://www.auto.cz), 13.6.2012, <http://www.auto.cz/bosch-za-tri-roky-bude-spotreba-pod-tri-litry-bezna-67526>

<sup>66</sup> Jungmann A., *Škoda Octavia Green e-Line: Řídili jsme škodoväcký elektromobil*, [www.auto.ct](http://www.auto.ct), 4.6.2012, <http://www.auto.cz/skoda-octavia-green-e-line-ridili-skodovacky-elektromobil-67332>

vyrobena 10 kW/h elektrické energie. Vypočtená spotřeba však odpovídá běžné spotřebě elektrocentrály s teoretickým výkonem 15kVA, která je např. u typu EC 15 kVA deklarována mezi 8,5 - 9 l paliva na hodinu provozu<sup>67</sup>.

### **Mód paralelní hybrid**

Výpočet energetické náročnosti provozu byl proveden při rozložení hnacích sil 50:50 mezi přední a zadní nápravu. Vzhledem k praktické možnosti rozložení hnacích sil mezi nápravu v rozmezí 0 - 100 % je tento výpočet pouze orientační a ilustrativní. Výsledná přepočtená hodnota 2,65 l/100 km tak jen deklaruje jaký potenciál energetické úspory se nachází v efektivním využití elektrické energie jako zdroje pro pohon vozidel.

Dimenzování trakční baterie v kapitole 11 je provedeno tak, aby při požadované napěťové hladině zůstatkové kapacity 20 % bylo vozidlo na čistě elektrický pohon schopno urazit 100 km. Dobíjení palubní trakční baterie je možno realizovat třemi způsoby:

- klasickým způsobem ze zásuvky
- módem sériového hybridu
- módem spalovacího motoru, kdy motor vozidla přebytkem svého výkonu roztáčí generátor elektrické energie, který alespoň částečně dobíjí palubní trakční baterii

### **Provoz osvětlení a pomocných systémů**

Pro dimenzování osvětlovacího systému kap. 12 bylo plně využito zkušeností s realizací a návrhem elektromobilu EHR 10 a poznatků získaných předchozími pracemi [5]. Uvedené řešení osvětlení plně odpovídá legislativním požadavkům na osvětlení vozidla shrnutých v knize Zkoušení automobilů a motocyklů – příručka pro konstruktéry [1].

Systémový návrh vozidla osazeného duálním hybridním pohonem je doplněn modelovým rozložením komponent na palubě vozidla viz kap. 13. Rozložení je provedeno následujícím způsobem: skupina spalovacího motoru a generátor elektrické energie jsou umístěny nad přední nápravou, skupina elektromotorů a příslušenství je umístěna nad zadní nápravou. Palubní trakční baterie je umístěna v podlaze prostoru pro posádku, palivová nádrž je umístěna klasicky pod zadními sedadly, zdroj systému tepelné pohody posádky - fotovoltaický článek je umístěn ve střeše vozidla (v modelu není explicitně zakreslen).

---

<sup>67</sup> SJtrade, *Elektrocentrála EC 15kVA*, sjtrade.cz, r.2012, <http://sjtrade.cz/index.php?page=elektrocentrala-ec---15-kva-12-kw>



## 15. Závěr disertační práce

Tato disertační práce navazuje na současné trendy v individuální dopravě a současně shrnuje autorův podíl na aplikovaném výzkumu a získané znalosti na poli vozidel s nízkou energetickou náročností provozu. Při vytváření disertační práce byl kladen velký důraz na praktickou realizovatelnost výsledků, které byly v maximální možné míře prakticky verifikovány. Disertační práce je koncipována do dvou celků. První celek – kapitoly 2. – 5. je sběrem dat pro vytvoření systémového návrhu duálního hybridního pohonu. Druhý celek - kapitoly 6.- 14. se zabývá systémovým návrhem duálního hybridního pohonu E/E, který je, po jednotlivých základních funkčních módech a komponentách, specifikován v kapitolách 7. a 8. V kapitolách 9. – 13. následuje realizační část, kde je proveden systémový návrh vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E. Pro analytické výpočty na konkrétním vozidle a vizualizaci tohoto návrhu byly přejaty tvary vozidla Škoda Fabia 1.generace.

Hlavními výstupy této práce jsou: realizovaný elektromobil EHR 10, jehož vlastnosti jsou rozebrány v kapitole 4 a systémově navržený duální hybridní pohon, který je řešen v kap. 6.-14. s ohledem na eliminaci slabých stránek konvenčních běžně prodávaných vozidel, které vyplynuly ze studia odborné literatury, zkušeností uživatelů, analýz vozidel a sběru dat uvedeného v kapitole 5. Velkým zdrojem vstupních dat, pro vytvoření systémového návrhu duálního hybridního pohonu E/E, byla realizace a zkušební provoz elektromobilu EHR 10.

Při systémovém návrhu duálního hybridního systému E/E bylo vycházeno z prototypu elektromobilu EHR 10, který je koncipováno jako netradiční vozidlo s využitím převážně pro volnočasové aktivity. Pro jeho vyšší atraktivitu a neobvyklost byl zvolena karoserie typu retro, která byla umístěna na bezpečnostní prostorový skelet vozidla. Jednotlivé díly karoserie byly přejaty z vozidla Gordon, které je karosováno ve stylu vozidla AERO 30 ze 30. let 20. století. Uvedená koncepce řešení podvozku elektromobilu EHR 10 umožnila přistoupit k projekčnímu návrhu a realizaci elektromobilu novou cestou - vozidlo bylo projektováno, konstruováno a realizováno jako elektromobil - tedy neproběhla konverze ze spalovacího vozidla. Výhodou tohoto řešení je realizace vozidla bez vynucených kompromisů pro zástavbu elektrického pohonu a palubní trakční baterie.

Na tomto elektromobilu byl také vyzkoušen pasivní box palubní trakční baterie, který umožnil udržovat stálou teplotu palubní trakční baterie - udržení této teploty je nutné z hlediska dosažení správné funkce a životnosti palubní trakční baterie.

Řešený duální hybridní pohon E/E je pohonem, který je svojí koncepcí možno zařadit do kategorie univerzálních hybridních pohonů pro vozidla, která jsou v převážné většině využívána v individuální přepravě osob k cestě do zaměstnání, za nákupy a za zábavou. Podle statistik byla průměrná denní vzdálenost ujetá na osobu v zemích "evropské 25" v roce 2004 mezi 30 - 40 km<sup>68</sup>. Při předpokládaném denním nájezdu 50 km a využití vozidla 5x týdně odpovídá průměrný roční nájezd 13 500 km. Při plánované morální životnosti vozidla a technologie 10 let vzniká tak životnostní požadavek na vozidlo cca 150 000 km s minimální servisní náročností vozidla. Vzhledem k typu pohonu a danému určení vozidla je delší životnost vozidla zbytečná, neboť lze předpokládat, že po deseti letech provozu vozidla bude každá větší oprava vozidla nerentabilní a vozidlo bude po deseti letech provozu výrazně morálně zastaralé - běžná životnost konvenčního vozidla je dnes projektována na cca 250 000 km<sup>69</sup>, přitom finančně nejnáročnější oprava takového vozidla je plánována po ujetí cca 150 000km<sup>70</sup>. Vzhledem k trendu snižování cen vozidel<sup>71</sup>, který trvá již několik let, je možné předpokládat i snížení životnosti konvenčních vozidel.

Z výše uvedených skutečností v konfrontaci se zjištěnými výsledky uvedenými v kapitole 14. je možné hodnotit vozidlo osazené duálním hybridním pohonem jako technicky konkurenceschopné na poli vozidel pro denní použití. Negativem řešení duálního hybridního pohonu E/E je v případě realizace prvních kusů vozidel je cena vozidla, kdy nejdražší finanční položkou je vývoj specifického spalovacího motoru. Nicméně dle Petera Tyrollera<sup>72</sup> jsou motory s obdobnou spotřebou pohonných hmot již ve

---

<sup>68</sup> Strelow H., *Osobní doprava v Evropské unii*, edice.cdf.cz, r.2004, [http://edice.cd.cz/edice/Statistika/stat2006/stat11\\_06.pdf](http://edice.cd.cz/edice/Statistika/stat2006/stat11_06.pdf)

<sup>69</sup> Vaculík M., *Dieselová pro a proti: Opravy vstřikovačů Common railu*, www.auto.cz, 21.6.2012, <http://www.auto.cz/dr-diesel-opravy-vstrikovacu-common-railu-od-tri-do-ctrnacti-tisic-67684>

<sup>70</sup> jde o výměny rozvodových komponent vozidla, o výměnu filtrů pevných částic, o výměnu víchemotových setrvačnicků a o výměnu či repasi součástí palivového okruhu

<sup>71</sup> Šikl P., *Ceny nových aut do 300 tisíc Kč: pokles nekončí*, www.autorevue.cz, 1.11.2010 <http://www.autorevue.cz/ceny-novych-aut-do-300-tisic-kc-pokles-nekonci>

vývoji automobilových společností. Další významnou finanční položkou jsou použité elektromotory. Současná cena kusové výroby těchto elektromotorů není bohužel zveřejněna - v době systémového návrhu elektromobilu EHR 10 činila cca 120 000 Kč za kompletní řešení pohonu vozidla bez převodovky. Třetí nejvýznamnější finanční položkou duálního hybridního pohonu E/E jsou převodovky, které by pro realizaci vozidla bylo třeba připravit, případně vytipovat jejich použití z již realizovaného řešení. Ostatní komponenty vozidla a technická řešení, které jsou použity v systémovém návrhu vozidla s duálním hybridním pohonem E/E jsou již praxí ověřeny. Nezanedbatelnou část nákladů vývoje vozidla jsou samozřejmě i náklady, které je nutno vynaložit na schválení vozidla pro provoz na silničních komunikacích.

Systémový návrh vozidla s duálním hybridním pohonem E/E je tak modulární stavebnicí, která kombinuje vhodná technická řešení pro získání vozidla s požadovanými technickými vlastnostmi bez zbytečných kompromisů, které by se negativně podepsaly na energetické náročnosti provozu vozidla.

Pro realizaci podvozkové skupiny řešeného vozidla bude nutné se zaměřit zejména na eliminaci jízdních odporů vozidla a to jak použitím vhodných komponent (např. pneumatiky s nízkým valivým odporem), tak i vhodnou konstrukcí jednotlivých částí podvozkové skupiny. Při řešení návrhu karoserie bude nutno dbát zejména na maximální aerodynamicky čisté tvary karoserie při zachování funkčnosti a bezpečnosti vozidla. Z hlediska požadavku minimalizace hmotnosti vozidla bude nutno při konstrukci dopravního prostředku používat lehké slitiny kovů a kompozitní materiály. Pro interiér bude nutno zvolit materiály, které mají nízkou tepelnou absorpci, selektivní zasklení a pasivní izolaci jednotlivých komponent karoserie (střecha, dveře atd.).

#### **Přínos disertační práce lze shrnout v následujících bodech:**

- Na elektromobilu EHR 10 byla zkušebním provozem v roce 2010 prokázána vhodnost využití vhodně koncipované převodové skříně, která umožňuje efektivnější využití energie při přenosu hnací síly na vozovku. Tento fakt byl

---

<sup>72</sup> Dragoun A., *Bosch: Za tři roky bude spotřeba pod tři litry "běžná"*, [www.auto.cz](http://www.auto.cz), 13.6.2012, <http://www.auto.cz/bosch-za-tri-roky-bude-spotreba-pod-tri-litry-bezna-67526>

potvrzen i produktem anglické firmy Antonov – informace o řešení této firmy byly publikovány 7.7. 2011<sup>73</sup>.

- Pokud je k elektromobilu od projekčního návrhu přistupováno jako k unikátnímu vozidlu tzn. nejde o přestavbu původního vozidla se spalovacím motorem, potom je toto vozidlo plně použitelné pro denní nasazení v individuální přepravě osob za prací, kulturou i zábavou na trati kratší až střední vzdálenosti.
- Experimentálním provozem elektromobilu EHR 10 byla pomocí opakované dojezdové zkoušky změřena výhoda nepoužívání rekuperačního systému, neboť při efektivním využití kinetické energie vozidla bylo elektromobilem EHR 10 dosaženo v průměru o 6km delšího dojezdu než s využitím rekuperace kapitola 4.5. Rekuperace byla výhodná pouze ve chvílích, kdy vozidlo absolvovalo průjezd dlouhými (několik km) klesáními, která však nejsou v reliéfu krajiny České republiky příliš častá.
- Byly prokázány nedostatky výpočtu a měření spotřeby vozidel se spalovacím motorem i elektromobilů viz. kapitola 2.,4.,10. definované standardem EHK101 a parametrický cyklus NEDC. Odlišnost takto prováděného výpočtu a měření energetické spotřeby vozidel je v současné době předmětem zájmu odborného tisku<sup>74</sup> i jednání o změně legislativy<sup>75</sup>.
- V systémovém návrhu duálního hybridního pohonu byl aplikován Audreaův motor s prodlouženou expanzí, který dosahuje vyšší účinnosti než motory, které mají stejnou délku sacího a expanzního cyklu. Výpočtem zjištěná spotřeba pohonných hmot tímto motorem svoji nízkou hodnotou ukazuje směr, který lze předpokládat v automobilovém průmyslu – tedy zvýšení účinnosti spalovacích motorů. Tento předpoklad je potvrzen i v prohlášení firmy Bosch<sup>76</sup>.
- V práci bylo poukázáno na nutnost využití energeticky nenáročného systému, který zajišťuje tepelnou pohodu v kabině posádky. Nezanedbatelný vliv na tento

---

<sup>73</sup>Grohmann J., *Převodovka prodlouží dojezd elektromobilu*, www.hybrid.cz, 7.7.2011m <http://www.hybrid.cz/prevodovka-prodlouzi-dojezd-elektromobilu>

<sup>74</sup> Vaculík M., *Udávaná vs. skutečná spotřeba paliva: Proč se tolik liší?*, www.auto.cz, 24.2.2012, <http://www.auto.cz/homologovana-vs-provozni-spotreba-paliva-proc-tolik-lisi-65158>

<sup>75</sup> Dragoun A., *EU plánuje realističtější měření spotřeby*, www.auto.cz, 14.6.2012 <http://www.auto.cz/eu-planuje-realistictejsi-mereni-spotreby-67554>

<sup>76</sup> Dragoun A., *Bosch: Za tři roky bude spotřeba pod tři litry "běžná"*, www.auto.cz, 13.6.2012, <http://www.auto.cz/bosch-za-tri-roky-bude-spotreba-pod-tri-litry-bezna-67526>

system má cílenost systému na předem vytipované části lidského těla, které jsou nejvíce náchylné na přehřátí/podchlazení.

Hodnocení splnění cílů disertační práce stanovených v kapitole 1.2

Ad 1. – byla provedena komplexní analýza vnějších parametrů a spotřeby vozidla Peugeot 106 se spalovacím motorem o objemu 1.0 – **cíl byl splněn.**

Ad 2. – elektromobil EHR 10 byl realizován, během zkušebního provozu byla provedena měření a analýzy, odhalující přednosti a nedostatky elektromobilu EHR 10 – **cíl byl splněn.**

Ad 3. – v kapitole 5. byla analyzována následující vozidla Škoda Octavia II, Škoda Superb II, Dacia Sandero, Peugeot 207 sw – **cíl byl splněn.**

Ad 4. – byl vytvořen systémový návrh vozidla osazeného duálním hybridním pohonem E/E, systémový návrh vozidla je aplikován na vozidlo s tvary přejatými z vozidla Škoda Fabia 1. generace (viz kapitola 13) a je vybaveno pasivním systémem klimatické pohony v kabině posádky – **cíl byl splněn.**

Během řešení tématu předkládané disertační práce byly splněny všechny cíle, které byly výtčeny v kapitole 1.2. Bylo provedeno hodnocení energetické náročnosti provozu vozidla se spalovacím motorem, elektromobilu a byl proveden systémový návrh duálního hybridního pohonu E/E, který byl využit v systémovém návrhu nového osobního vozidla. Při porovnání výsledků získaných v během aplikovaného výzkumu, který tato disertační práce dokumentuje, s výsledky, které bylo dosaženo v řešení produkčních firem, potom lze konstatovat, že dosažené výstupní hodnoty odpovídají výsledkům, kterých pro daná technická řešení dosahují i konkurenční technická řešení.

**Odborné konzultace**

Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D. FST – KKS

Doc. Ing. Jaromír Švígler CSc. FAV - KME

Ing. Vladimír Friml APC s.r.o.

Ing. Michal Návara APC s.r.o.

Petr Krieglstein APC s.r.o.

Ing. Vladimír Hruža ELIS Plzeň

Ing. Martin Pittermann, Ph.D. FEL – KEV

Ing. Milan Šíma Saft – Industrial Battery Group

Ing. Milan Vnouček, Ph.D FST – ZČU - KMM

Ing. Jan Žižka - Ricardo Prague s.r.o.

Jan Sedlák - i4wifi a.s.

IC-WEST s.r.o. - regionální dealer firmy Peugeot

# I. Seznam literatury

Použitá:

- [1]: First J. a kol.: *Zkoušení automobilů a motocyklů – příručka pro konstruktéry*, ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravní techniky, ISBN: 078-80-254-1805-6
- [2]: Bartoš V., Červený J., Hruška J., Kotlanová A., Skala B.: *Elektrické stroje*, ZČU v Plzni, Fakulta elektrotechnická 2006, ISBN: 80-7043-444-9
- [3]: Vlk F.: *Automobilová technická příručka*, Brno 2003, ISBN: 81-238-9681-4
- [4]: Cílek V., Kašík M.: *Nejistý plamen: průvodce ropným světem*, ISBN: 978-80-7363-122-2
- [6]: Šteiner M: *Podklady k předmětu komplexní hodnocení dopravních prostředků*, ZČU v Plzni
- [7]: Švígler, J. *Podklady k předmětu mechanika dopravních prostředků*, ZČU v Plzni
- [8]: Vondrášek, F. *Výkonová elektronika-1.svazek*. ZČU Plzeň, 1994.
- [9]: Jenčík J., Volf J.. *Technická měření*, ČVUT 2000, ISBN 80-01-02138-6
- [10]: Hosnedl S. *Podklady k předmětu ZKM*, ZČU v Plzni
- [11]: Vlk F. *Elektrická zařízení motorových vozidel*, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
- [12]: Hanečková K., Model osobního automobilu so sériovým hybridným pohonem, Sborník konference ERIN2010, ISBN 978-80-7043-866-4
- [13]: Zeman K., Peroutka Z., Janda M., *Automatická regulace pohonů s asynchronními motory* ZČU v Plzni, Fakulta elektrotechnická 2004, ISBN 80-7043-350-7
- [14]: Hosnedl S., Krátký J., *Příručka strojího inženýra, obecné strojí části 1*, Computer press Brno 1999 , ISBN 80-7226-055-3
- [16]: Horníček J. – *Jak jezdit s nižší spotřebou*, Coputer press Praha 2000, ISBN: 978-80-7226-412-4
- [17]: Vondrášek J., Langhammer J., Peroutka A., Měsíček J., Molnár J. – *Projektování výkonových polovodičových měničů – vybrané stati*, ZČU v Plzni 2008, ISBN 978-80-7043-653-0
- [18]: Piskač L. – *Elektrické pohony principy a funkce*, ZČU v Plzni 2008, ISBN: 978-80-7043-688-2
- [22]: *Vyhláška 50/1978 sb.* Miroslav Minařík, verze ke stažení [www.elektrika.cz](http://www.elektrika.cz), 21.3.2010

- [24]: Kožušek J. - *Výpočet a konstrukce spalovacích motorů I, II*, SNTL - Nakladatelství technické literatury Praha 1978, 1983, 04-231-78,04-222-83
- [25]: Ferenc B. - *Spalovací motory*, Computer press Brno 2009, ISBN 978-80-251-2545-8
- [26]: IFA, *Provozní návod motocyklů MZ150 a 250 ETZ*, IFA mobile DDR 1988
- [27]: Tokař, S. *Mechanismus jednoválcového zážehového motoru s prodlouženou expanzí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. Vedoucí diplomové práce prof.Ing. Václav Pištěk, DrSc.
- [28]: Višcor, P. *Studie pasivního chlazení kabiny osobního automobilu*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulty strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Fišer.

Vlastní:

- [5]: Kleisner P.: *Návrh polovodičového světlometu pro dopravní prostředek – diplomová práce*, ZČU v Plzni, Fakulta strojní 2008, Vedoucí práce Formánek J.
- [10]: Kleisner P.: *Analýza spínací frekvence u přímého řízení momentu – bakalářská práce*, ZČU v Plzni, Fakulta elektrotechnická 2005, Vedoucí práce Peroutka Z.
- [15]: Formánek J., Kleisner P., Kutlwašer J. – *Cvičení z diagnostiky silničních vozidel - experimentální ověření vlastností obtékání částí karosérie v modelovém měřítku*, Plzeň 2010
- [19]: Kleisner P. – *Měření parametrů elektromobilu*, ZČU v Plzni 2009
- [21]: Jan Kutlwašer, Petr Kleisner, Josef Formánek: *Zjišťování parametrů na malém elektromobilu*, RIN 2010, ISBN 978-80-7043-866-4 str.46
- [23]: Kleisner P. – *Hybridní pohon E/E – ZČU v Plzni –SVOČ 2010*.
- [29]: Kleisner P. – *Calculation of fuel consumption – ZČU v Plzni –SVOČ 2012*.
- [30]: Kleisner P. – *Komplexní hodnocení energetické náročnosti komponent pro dopravní a manipulační techniku - práce ke státní doktorské zkoušce – ZČU v Plzni –Plzeň 2010*.



## II. Internetové zdroje

Funkce veškerých internetových zdrojů byla kontrolována ke dni 10.8.2012

[a] – [www.hybrid.cz](http://www.hybrid.cz)

[b] – [www.elektromobily.org](http://www.elektromobily.org)

[c] – [www.greenmotorsport.com](http://www.greenmotorsport.com)

[d] – [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

[e] – [www.michelin.cz](http://www.michelin.cz)

[f] – [www.thunder-sky.com](http://www.thunder-sky.com)

[g] – [www.auto88.cz](http://www.auto88.cz)

[h] – [www.teslamotors.com](http://www.teslamotors.com)

[i] – [www.yttrium-power.com](http://www.yttrium-power.com)

[j] – [www.auto.cz](http://www.auto.cz)

[k] – [www.evworld.cz](http://www.evworld.cz)

[l] – <http://www.novinky.cz/>

[m] – <http://www.ekobydleni.eu>

[n] – <http://www.imcdb.org>

Funkce použitých internetových odkazů byla kontrolována ke dni 1.7.2012

### III. Přehled vědecké činnosti autora dle OBD

Výpis z OBD byl generován 6.8.2012

ID publikace: 45967  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR  
Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)  
Titul: Lišta přední kapoty elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návara (); Petr Krieglstein ();  
Rok publikace: 2011

---

ID publikace: 43878974  
Lit. Forma: STAŤ VE SBORNÍKU  
Rozšíření LiF: Stať ve sborníku  
Titul: Zjišťování parametrů na malém elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43879014  
Lit. Forma: STAŤ VE SBORNÍKU  
Rozšíření LiF: Stať ve sborníku  
Titul: Mechatronické systémy v manipulační technice  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43879015  
Lit. Forma: STAŤ VE SBORNÍKU  
Rozšíření LiF: Stať ve sborníku  
Titul: Konstrukční uspořádání výrobních strojů a zařízení pro výukové účely  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Michal Švec (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43883956  
Lit. Forma: POLOPROVOZ, TECHNOLOGIE, ODRŮDA, PLEMENO  
Rozšíření LiF: Technologie (Z)

---

---

Titul: Návrh polovodičového (LED) osvětlení elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43884016  
Lit. Forma: POLOPROVOZ, TECHNOLOGIE, ODRŮDA, PLEMENO  
Rozšíření LiF: Technologie (Z)

Titul: Ergonomické uspořádání přístrojů elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43884017  
Lit. Forma: POLOPROVOZ, TECHNOLOGIE, ODRŮDA, PLEMENO  
Rozšíření LiF: Technologie (Z)  
Titul: Optimalizace akumulátorového zdroje elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43884018  
Lit. Forma: POLOPROVOZ, TECHNOLOGIE, ODRŮDA, PLEMENO  
Rozšíření LiF: Technologie (Z)  
Titul: Návrh hlavního pohonu elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43884021  
Lit. Forma: POLOPROVOZ, TECHNOLOGIE, ODRŮDA, PLEMENO  
Rozšíření LiF: Technologie (Z)  
Titul: Návrh technologie řídicího systému elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43884371  
Lit. Forma: PŘEDNÁŠKA, POSTER

---

---

Rozšíření LiF: Přednáška, poster - ČR

Titul: Elektromobil pro využití ve volném čase

Autoři: Petr Daněk (KP-197); Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Josef Sklenička (KP-165);

Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43884587

Lit. Forma: PROTOTYP, FUNKČNÍ VZOREK

Rozšíření LiF: Funkční vzorek (G)

Titul: Funkční laboratorní model elektrického vozidla

Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);

Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43886615

Lit. Forma: PROTOTYP, FUNKČNÍ VZOREK

Rozšíření LiF: Funkční vzorek (G)

Titul: Elektronický diferenciál pro elektromobily

Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);

Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43886616

Lit. Forma: PROTOTYP, FUNKČNÍ VZOREK

Rozšíření LiF: Funkční vzorek (G)

Titul: Výuková CNC řezačka polystyrenu

Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);

Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43886617

Lit. Forma: PROTOTYP, FUNKČNÍ VZOREK

Rozšíření LiF: Funkční vzorek (G)

Titul: 3D frézovací minicentrum

Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);

Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43886618

---

---

Lit. Forma: PROTOTYP, FUNKČNÍ VZOREK  
Rozšíření LiF: Funkční vzorek (G)  
Titul: Polovodičový světlomet  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2010

---

ID publikace: 43890209  
Lit. Forma: STAŤ VE SBORNÍKU  
Rozšíření LiF: Stať ve sborníku (O)  
Titul: Measurement of electric vehicle energy consumption  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Petr Kleisner (KP-169);  
Rok publikace: 2011

---

ID publikace: 43890773  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR  
Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)  
Titul: Větrný deflektor  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návara (); Petr Krieglstein ();  
Rok publikace: 2011

---

ID publikace: 43895686  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR  
Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)  
Titul: Přístrojová deska elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návara (); Petr Krieglstein ();  
Rok publikace: 2011

---

ID publikace: 43895687  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR  
Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)  
Titul: Držák hlavního odpojovače elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návara (); Petr Krieglstein ();  
Rok publikace: 2011

---

---

ID publikace: 43895688

Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR

Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)

Titul: Držák palubních teploměrů ve vozidle

Autoři: Josef Formánek (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návára (); Petr Krieglstein ();

Rok publikace: 2011

---

ID publikace: 43895917

Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR

Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)

Titul: Víčko dobíjecí zásuvky elektromobilu

Autoři: Josef Formánek (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návára (); Petr Krieglstein ();

Rok publikace: 2011

---

ID publikace: 43896036

Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR

Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)

Titul: Držák měřících přístrojů

Autoři: Josef Formánek (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návára (); Petr Krieglstein ();

Rok publikace: 2011

---

ID publikace: 43897617

Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR

Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)

Titul: Držák hlavního předního osvětlení elektromobilu

Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návára (); Petr Krieglstein ();

Rok publikace: 2012

---

ID publikace: 43897680

Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR

Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)

---

Titul: Ukazatel proudového odběru pohonu elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2012

---

ID publikace: 43897681  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR  
Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)

Titul: Ukazatel napětí akumulátorů elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2012

---

ID publikace: 43897748  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR  
Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)  
Titul: Značený ukazatel proudového zatížení pohonu elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2012

---

ID publikace: 43897749  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR  
Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)  
Titul: Pozitivní ukazatel proudového zatížení pohonu elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2012

---

ID publikace: 43897750  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR  
Rozšíření LiF: Průmyslový vzor (F)  
Titul: Negativní ukazatel proudového zatížení pohonu elektromobilu  
Autoři: Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);  
Rok publikace: 2012

---

ID publikace: 43897751  
Lit. Forma: PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR

---

---

Rozšíření LiF:	Průmyslový vzor (F)
Titul:	Značený ukazatel napětí akumulátoru v elektromobilu
Autoři:	Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);
Rok publikace:	2012

---

ID publikace:	43897752
Lit. Forma:	PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR
Rozšíření LiF:	Průmyslový vzor (F)
Titul:	Pozitivní ukazatel napětí akumulátoru v elektromobilu
Autoři:	Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);
Rok publikace:	2012

---

ID publikace:	43897753
Lit. Forma:	PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR
Rozšíření LiF:	Průmyslový vzor (F)
Titul:	Negativní ukazatel napětí akumulátoru v elektromobilu
Autoři:	Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169);
Rok publikace:	2012

---

ID publikace:	43897756
Lit. Forma:	PATENT, UŽITNÝ VZOR, PRŮMYSLOVÝ VZOR
Rozšíření LiF:	Průmyslový vzor (F)
Titul:	Držák hlavního předního osvětlení elektromobilu
Autoři:	Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169); Jan Kutlwašer (KP-169); Vladimír Friml (); Michal Návara (); Petr Krieglstein ();
Rok publikace:	2012

---

ID publikace:	43898093
Lit. Forma:	ČLÁNEK
Titul:	An Electric Vehicle Calculation Model Validation by Measuring
Autoři:	Jan Kutlwašer (KP-169); Josef Formánek (KP-169); Petr Kleisner (KP-169);
Rok publikace:	2011

---





## Seznam příloh

Příloha 1 - Cyklus NEDC.....	ii
Příloha 2 - Peugeot 106 1.0 měřený úsek "České Budějovice".....	vi
Příloha 3 - Peugeot 106 1.0 měřený úsek "Domažlice" .....	xi
Příloha 4 - vzorový výpočet spotřeby automobilu z vypočtených vnějších charakteristik.....	xvi
Příloha 5 - Zjednodušené schéma trakčního měniče vozidla EHR 10 .....	xviii
Příloha 6 - Výpočet parametrů elektromobilu ve stylu Hot Rod .....	xix
Příloha 7 - Výpočtová tabulka parametrů vozidla EHR 10 .....	xxii
Příloha 8 - Určení výpočtové hmotnosti vozidla EHR 10.....	xxiii
Příloha 9 - Otisk výpočtového modelu pro výpočet energetické náročnosti provozu vozidla EHR10 .....	xxvi
Příloha 10 - Hmotnost vybraných komponentů vozidla osazeného E/E .....	xxvii
Příloha 11 - výsledná část výpočtu křivek spalovacího motoru s prodlouženou expanzí.....	xxix
Příloha 12 - Písemné svolení využití dipl práce panem prof. Píštěkem .....	xxx
Příloha 13 - Písemné svolení využití dipl práce panem Ing. Fišerem .....	xxxi
Příloha 14 - Tabulka vypočtených parametrů v módu spalovacího motoru .....	xxxii
Příloha 15 - Tabulka vypočtených parametrů v módu elektromobilu .....	xxxiii
Příloha 16 - Tabulka vypočtených parametrů v módu paralelního hybridu.....	xxxiv
Příloha 17 – Vztahová základna výpočtů parametrů a spotřeby.....	xxxv
Příloha 18 – SW a použité přístroje vytvoření disertační práce .....	xxxix

# Příloha 1 - Cyklus NEDC

poznámka: parametrizace cyklu NEDC je převzata z knihy Jiří First a kol: "Zkoušení automobilů a motocyklů"

## Městská část cyklu NEDC

číslo činnosti	činnost	fáze	akcelerace (m/s <sup>2</sup> )	rychlost (km/h)	trvání činnosti (s)	trvání fáze (s)	kumulativní čas (s)	převodový stupeň použitý v případě manuální převodovky
1	volnoběh	1			11	11	11	6s PM + 5sK1
2	akcelerace	2	1	0-15	4	4	15	1
3	stálá rychlost	3		15	9	8	23	1
4	zpomalování	4	-1	15-10	2	5	25	1
5	zpomalování spojka vypnuta	4	-1	10-0	3	5	28	K1
6	volnoběh	5			21	21	49	16s PM+5sK1
7	akcelerace	6	0,8	0-15	5	12	54	1
8	přeřazení	6			2	12	56	
9	akcelerace	6	0,9	15-32	5	12	61	2
10	stálá rychlost	7		32	24	24	85	2
11	zpomalování	8	-1	32-10	8	11	93	2
12	zpomalování spojka vypnuta	8	-1	10-0	3	11	96	K2
13	volnoběh	9			21	21	117	16s PM+5sK1
14	akcelerace	10	0,8	0-15	5	26	122	1
15	přeřazení	10			2	26	124	
16	akcelerace	10	0,6	15-35	9	26	133	2
17	přeřazení	10			2	26	135	
18	akcelerace	10	0,5	35-50	8	26	143	3
19	stálá rychlost	11		50	12	12	155	3
20	zpomalování	12	-1	50-35	8	8	163	3
21	stálá rychlost	13		35	13	13	176	3
22	přeřazení	14			2	12	178	
23	zpomalování	14	-1	32-10	7	12	185	2
24	zpomalování	14	-1	10-0	3	12	188	K1
25	volnoběh	15			7	7	195	7 s PM

## Mimoměstská část cyklu NEDC

číslo činnosti	činnost	fáze	akcelerace (m/s <sup>2</sup> )	rychlost (km/h)	trvání činnosti (s)	trvání fáze (s)	kumulativní čas (s)	převodový stupeň použitý v případě manuální převodovky
1	volnoběh	1			20	20	20	K1
2	akcelerace	2	0,83	0-15	5	41	25	1
3	přeřazení	2			2	41	27	
4	akcelerace	2	0,62	15-35	9	41	36	2
5	přeřazení	2			2	41	38	
6	akcelerace	2	0,52	35-50	8	41	46	3
7	přeřazení	2			2	41	48	
8	akcelerace	2	0,43	50-70	13	41	61	4
9	stálá rychlost	3		70	50	50	111	5
10	zpomalování	4	-0,69	70-50	8	8	119	4s5+4s4
11	stálá rychlost	5		50	69	69	188	4
12	akcelerace	6	0,43	50-70	13	13	201	4
13	stálá rychlost	7		70	50	50	201	5
14	akcelerace	8	0,24	70-100	35	35	286	5
15	stálá rychlost	9		100	30	30	316	5
16	akcelerace	10	0,28	100-120	20	20	336	5
17	stálá rychlost	11		120	10	20	346	5
18	zpomalování	12	-0,69	120-80	16	34	362	5
19	zpomalování	12	-1,04	80-50	8	34	370	5
20	zpomalování spojka vypnuta	12	-1,39	50-0	10	34	380	Kn
21	volnoběh	13			20	20	400	PM

*poznámka:*

*K - spojka vypnuta; PM - zařazen neutrál*

**Charakteristika celého cyklu NEDC:**

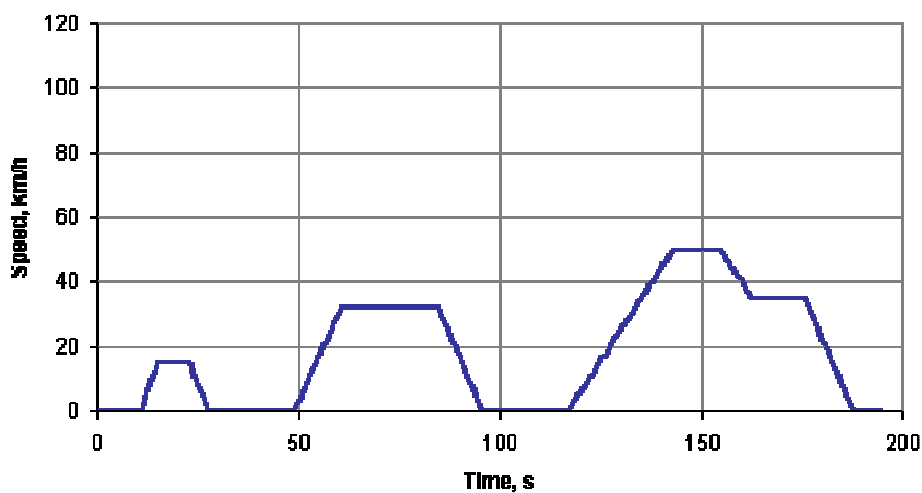
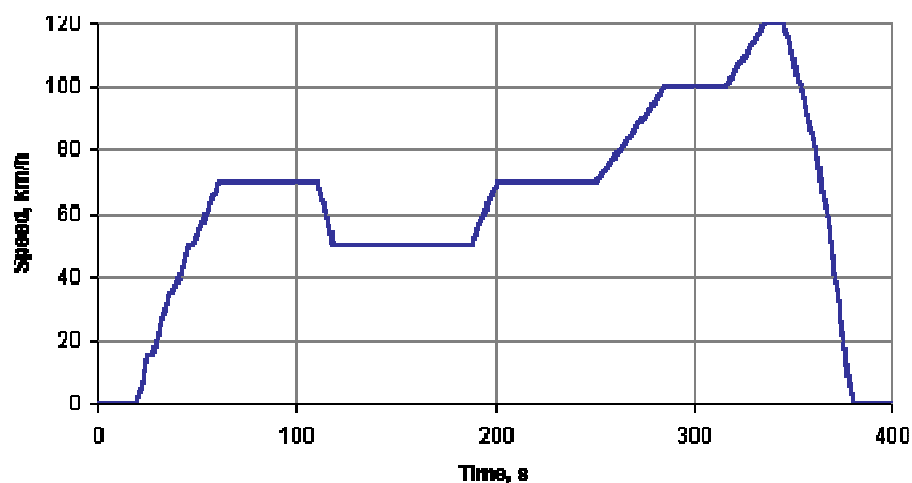
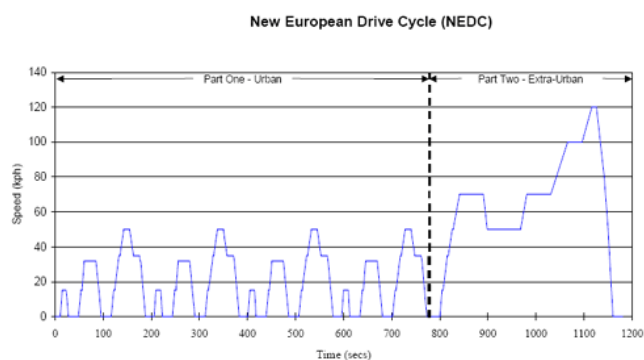
- Městská část cyklu NEDC je absolvován celkem 4x za sebou:

- průměrná rychlost 19 km/h
- efektivní doba jednoho oběhu 195 s
- teoretická vzdálenost 1 běhu 1013 m
- doba provozu na volnoběh 35,4 %
- doba řazení 4,1 %
- doba zrychlování 18,5 %
- konstantní rychlost 29,2 %
- zpomalování 12,8 %

- Mimoměstská část cyklu NEDC je absolvován 1x:

- průměrná rychlost 62,6 km/h
- efektivní doba trvání 400 s
- teoretická vzdálenost 6955 m
- provoz na volnoběh 10 %
- řazení 1,5 %
- zrychlování 25,8 %
- konstantní rychlost 52,2 %
- zpomalování 10,5 %

## Grafické znázornění částí cyklu NEDC

Městský cyklus (ECE 15)<sup>77</sup>Mimoměstský cyklus (EUDC)<sup>1</sup>Kombinovaný cyklus (NEDC)<sup>78</sup>

<sup>77</sup> Dieselnet.com, *ECE EUDC*, [http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php), EEC Directive 90/C81/01

<sup>78</sup> Renewable energy, now, Niels Thijssen, *Brandstofverbruk en auto's*, <http://www.renewable-energy-now.org/2009/07/brandstofverbruik-en-autos/>, renewable-energy-now.org

## Příloha 2 - Peugeot 106 1.0 měřený úsek "České Budějovice"

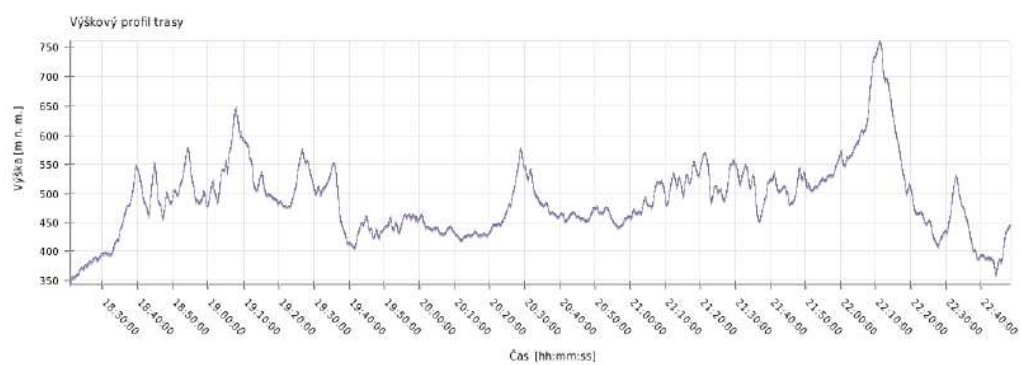
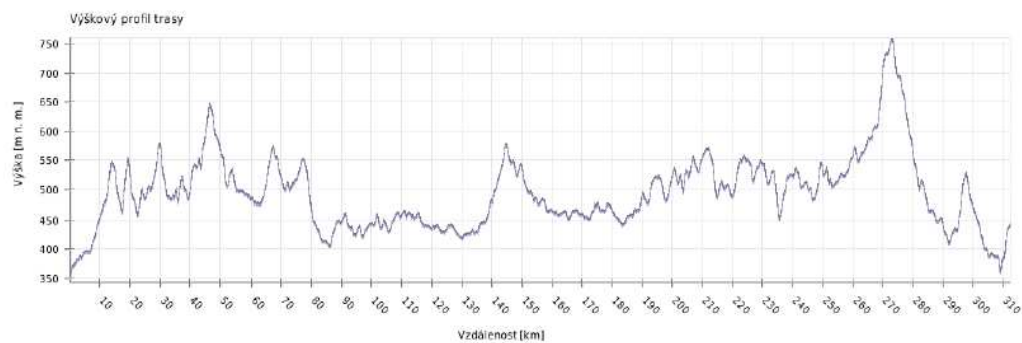
Generovaný protokol z programu uTrack



2011-10-15 19:20

Generated by uTrack (<http://utrack.crempa.net>)

## Výška



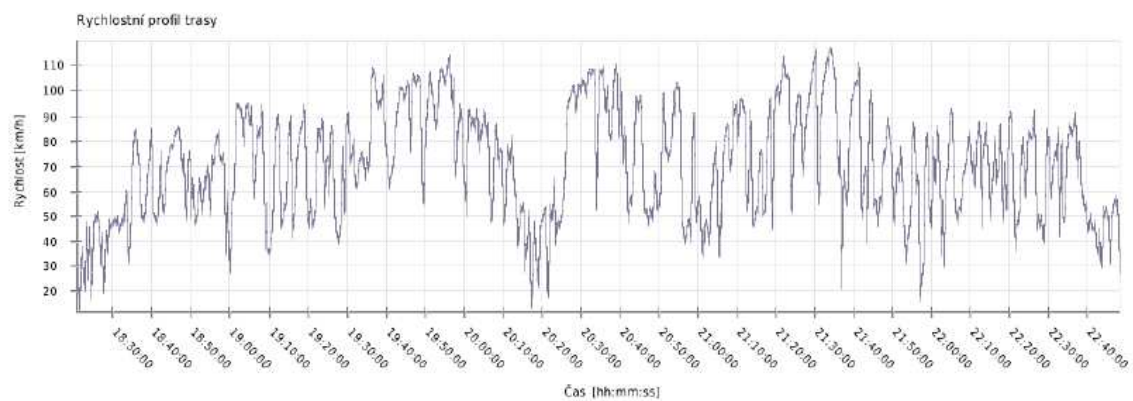
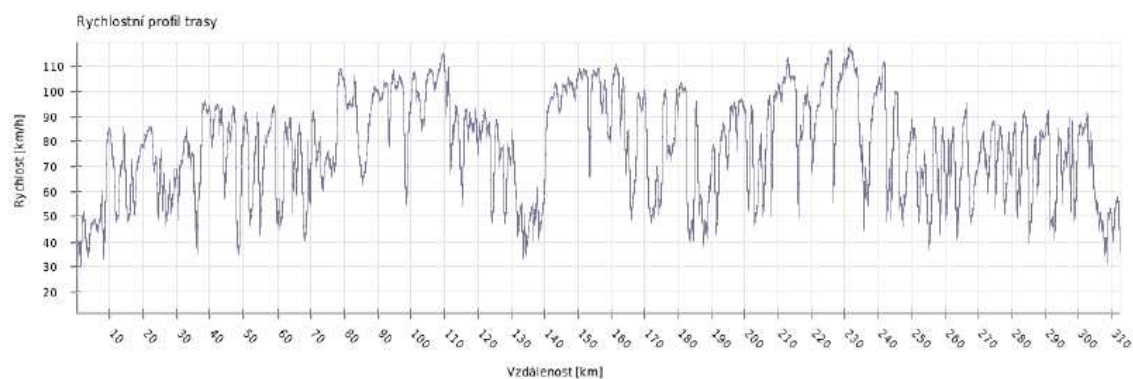
Minimální výška:	343 m n. m.
Maximální výška:	760 m n. m.
Průměrná výška:	489.8 m n. m.
Maximální rozdíl:	417 m
Celkové stoupání:	3421 m
Celkové klesání:	3479 m
Počáteční výška:	504.8 m n. m.
Koncová výška:	446 m n. m.
Konečná bilance:	-58.8 m



2011-10-15 19:20

Generated by uTrack (<http://uTrack.crempa.net>)

## Rychlost



Minimální rychlost:	11.6 km/h
Maximální rychlost:	119.5 km/h
Průměrná rychlost stoupání:	71.5 km/h
Průměrná rychlost klesání:	76.2 km/h
Průměrná rychlost na rovině:	69.9 km/h
Průměrná rychlost:	71.4 km/h

**2011-10-15 19:20**Generated by uTrack (<http://utrack.crempa.net>)

## Čas

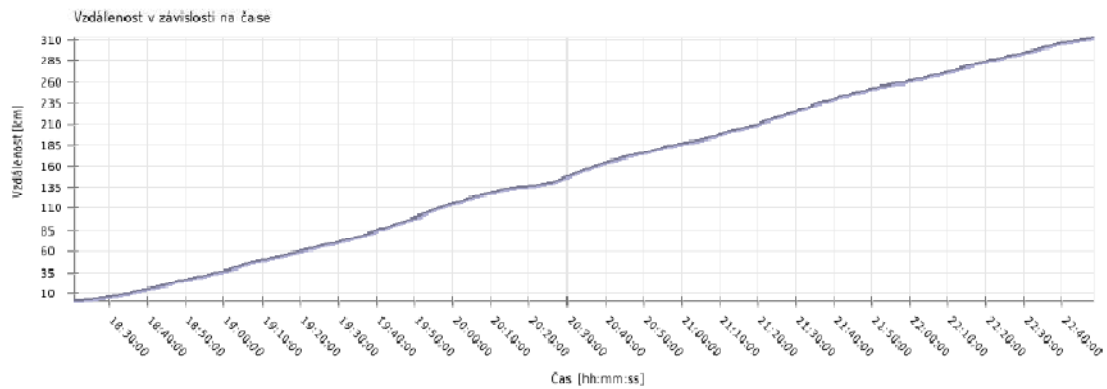
---

Datum trasy:	15.10.2011
Čas na začátku trasy:	19:20:42
Čas na konci trasy:	23:48:23
Celková doba trasy:	4h 27m 41s
Celková doba stoupání:	56m 08s
Celková doba klesání:	51m 17s
Celková doba roviny:	2h 40m 16s

2011-10-15 19:20

Generated by uTrack (<http://utrack.crempa.net>)

## Vzdálenost



Celková plošná vzdálenost:	312.2 km
----------------------------	----------

Celková skutečná vzdálenost:	312.5 km
------------------------------	----------

Vzdálenost stoupání:	63.5 km
----------------------	---------

Vzdálenost klesání:	64.1 km
---------------------	---------

Vzdálenost roviny:	184.9 km
--------------------	----------

## Příloha 3 - Peugeot 106 1.0 měřený úsek "Domažlice"

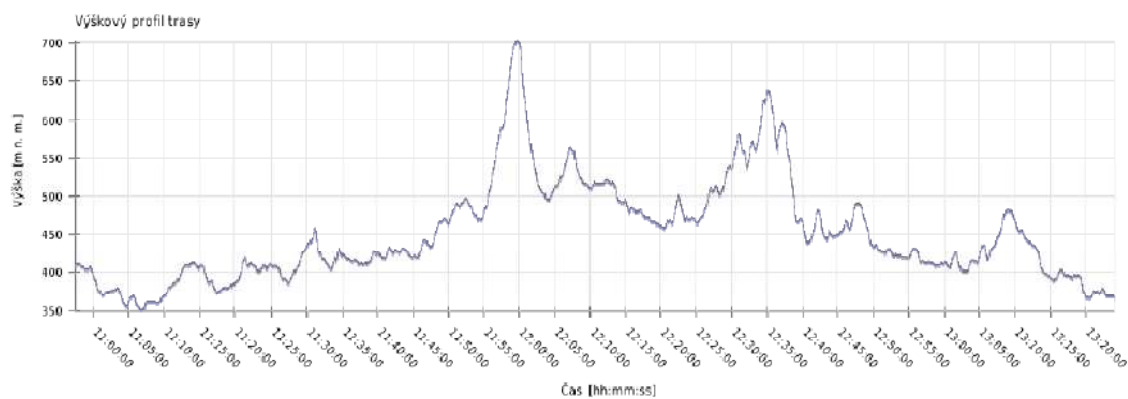
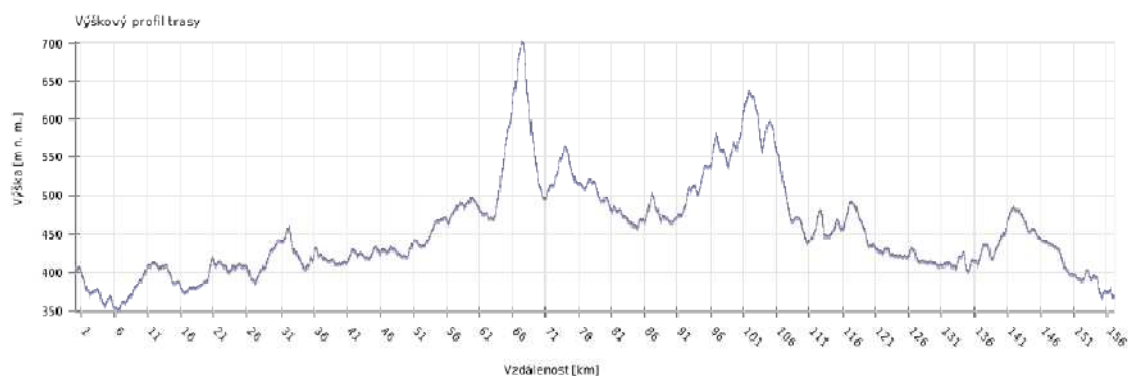
Generovaný protokol z programu uTrack



2011-10-16 11:57

Generated by uTrack (<http://utrack.crempa.net>)

## Výška

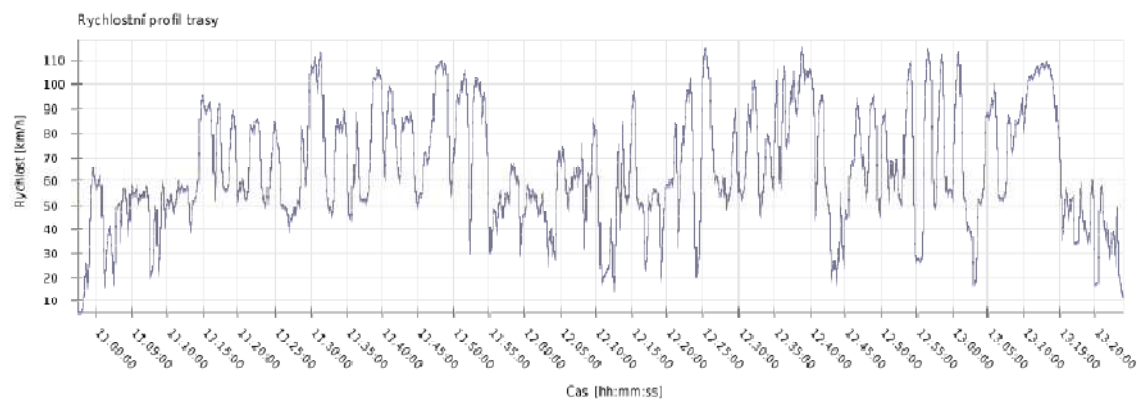
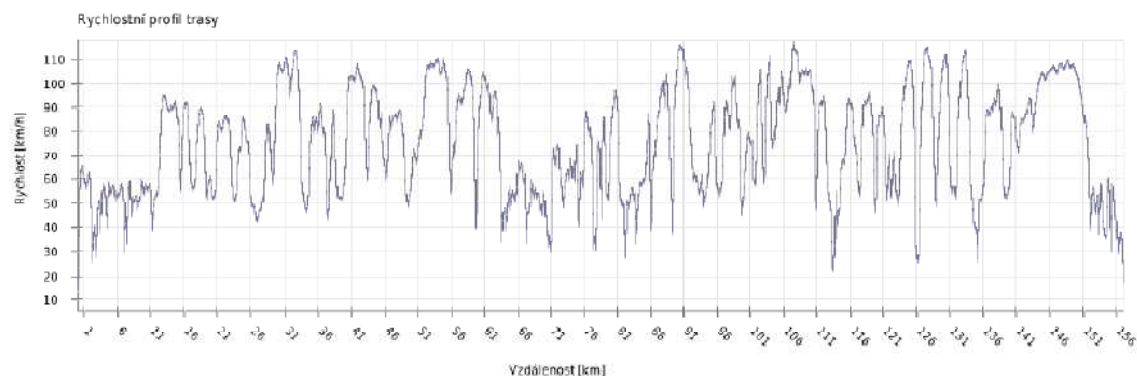


Minimální výška:	348 m n. m.
Maximální výška:	701 m n. m.
Průměrná výška:	451.7 m n. m.
Maximální rozdíl:	353 m
Celkové stoupání:	1835 m
Celkové klesání:	1881 m
Počáteční výška:	411 m n. m.
Koncová výška:	365 m n. m.
Konečná bilance:	-46 m

2011-10-16 11:57

Generated by uTrack (<http://utrack.crempa.net>)

## Rychlost



Minimální rychlost:	5.2 km/h
Maximální rychlost:	118 km/h
Průměrná rychlost stoupání:	66.3 km/h
Průměrná rychlost klesání:	71 km/h
Průměrná rychlost na rovině:	66.1 km/h
Průměrná rychlost:	67.1 km/h

**2011-10-16 11:57**Generated by uTrack (<http://utrack.crempa.net>)

## Čas

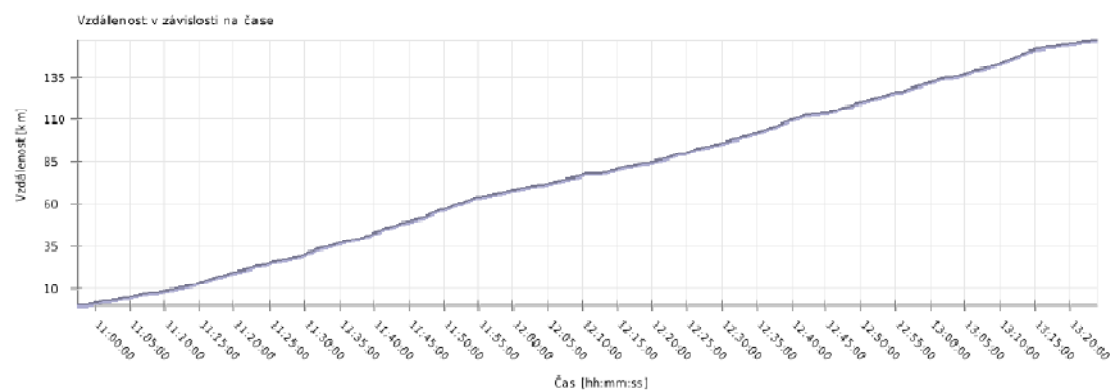
---

Datum trasy:	16.10.2011
Čas na začátku trasy:	11:57:20
Čas na konci trasy:	14:24:03
Celková doba trasy:	2h 26m 43s
Celková doba stoupání:	28m 32s
Celková doba klesání:	30m 08s
Celková doba roviny:	1h 28m 03s

2011-10-16 11:57

Generated by uTrack (<http://uTrack.crempa.net>)

## Vzdálenost



Celková plošná vzdálenost:	157 km
Celková skutečná vzdálenost:	157.1 km
Vzdálenost stoupání:	30.2 km
Vzdálenost klesání:	31.8 km
Vzdálenost roviny:	95.1 km



## Příloha 4 - vzorový výpočet spotřeby automobilu z vypočtených vnějších charakteristik

Příloha 4 – Výpočet spotřeby vozidla Peugeot 106 1.0

Ustálený stav

Stálá rychlost: 15 km/h

Rychlostní stupeň: I

Otáčky motoru: 2128 1/min

$$\dot{m}_{vzd} = \frac{p_1 \cdot 4V_1 \cdot n}{r \cdot T_1 \cdot 2 \cdot 60} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot (948 \cdot 10^{-6}) \cdot 2128}{287 \cdot 293,15 \cdot 120} = 0,02(\text{kg/s})$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1} = 293,15 \cdot 9,4^{1,4-1} = 718,36(\text{K})$$

$$T_3 = T_2 \cdot \Psi = 718,36 \cdot 4 = 2873,44(\text{K})$$

$$c_{v_{vz}} = \frac{r}{\kappa - 1} = \frac{287}{1,4 - 1} = 717,5(\text{J/kg} \cdot \text{K})$$

$$\dot{Q}_{př} = \dot{m}_{vzd} \cdot c_{v_{vz}} \cdot (T_3 - T_2) = 0,02 \cdot 717,5 \cdot (2873,44 - 718,36) = 34791,07(\text{W})$$

$$\dot{m}_{pal} = \frac{\dot{Q}_{př}}{q_n} = \frac{34791,07}{46,4 \cdot 10^6} = 0,00074(\text{kg/s})$$

$$\dot{v}_{pal} = \frac{\dot{m}_{pal}}{\rho} = \frac{0,00074}{0,75} = 0,00095(\text{l/s})$$

Vysvětlivky:

$p_1$  - atmosférický tlak – 101325 Pa

$V_1$  – objem jednoho válce na pozici dolní úvrati - 948/4 ccm

$r$  - plynová konstanta - J/kg.K

$T_1$  – teplota nasávané směsi - K

$T_2$  – teplota směsi na konci adiabatické komprese – K

$T_3$  – teplota hoření směsi - K

$\varepsilon$  – kompresní poměr motoru – 9,4

$\kappa$  - Poissonova konstanta

$\dot{m}_{vzd}$  – hmotnostní průtok vzduchu – kg/s

$\Psi$  – stupeň izochorického zvýšení tlaku motoru - 4

$c_{v_{vz}}$  - izochorická měrná tepelná kapacita vzduchu - J/kg.K

$\dot{Q}_{př}$  - přivedené teplo – W

$\dot{m}_{pal}$  - hmotnostní průtok paliva – kg/s

$\dot{v}_{pal}$  - objemový průtok paliva – ml/s

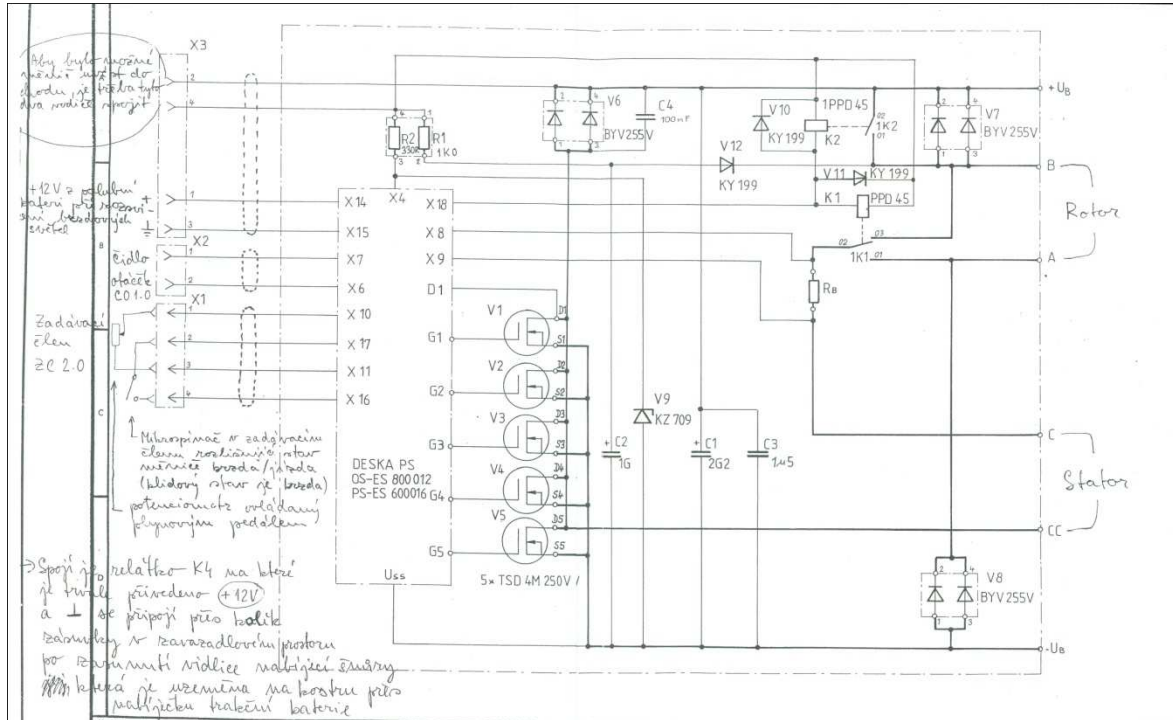
$\rho$  – měrná hmotnost – kg/m<sup>3</sup>

Dynamická změna spotřeby.

Výpočet je počítán jako algoritmus s časovým krokem  $t=1$  s, kdy dochází k plynulému pohybu po křivce výkonu, ze které jsou vyhodnoceny současné otáčky a dopočítána aktuální spotřeba.

Rychlost pro každý časový krok je definována jako  $v$  (m/s) =  $v_{t-1}$ (m/s) +  $a$ (m/s<sup>2</sup>).

# Příloha 5 - Zjednodušené schéma trakčního měniče vozidla EHR 10



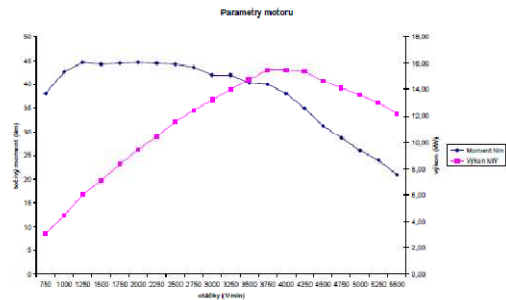
# Příloha 6 - Výpočet parametrů elektromobilu ve stylu Hot Rod

**Parametry motoru:**

otáčky 1/min	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250
moment Nm	39,00	42,88	44,88	44,30	44,50	44,88	44,50	44,30	43,88	42,00	42,00
výkon kW	3,10	4,44	6,00	7,11	8,33	9,44	10,44	11,66	12,44	13,20	14,00
otáčky 1/s	12,50	16,67	20,83	25,00	29,17	33,33	37,50	41,67	45,83	50,00	54,17

otáčky 1/min	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500
moment Nm	40,30	40,00	39,00	38,00	31,33	28,88	26,00	24,00	21,00
výkon kW	18,78	18,50	18,50	18,40	14,88	14,11	13,56	13,00	12,20
otáčky 1/s	58,33	62,50	66,67	70,83	75,00	79,17	83,33	87,50	91,67

**Výpočet parametrů elektromobilu ve stylu  
Hot Rod  
(verze 3.1)**



Vypracoval: Petr Kleisner  
Datum: 4.2.2010

- 1 -

- 2 -

**Výpočtové parametry vozidla:**

**Pneumatiky:**

Valivý obvod pneumatiky: 1946 mm  
Poloměr valení pneumatiky: 0,31 m  
Součinitel valivého odporu: 0,02

**Hmotnosti:**

Navrhovaná pohotovostní hmotnost vozidla: 900 kg  
Výpočtové zatížení vozidla: 180 kg  
Součinitel hmotnost vozidla: 980 kg

**Aerodynamické parametry:**

Čelní plocha vozidla: 1,4 m<sup>2</sup>  
Součinitel aerodynamického odporu Cx: 0,45

**Účinnosti:**

Účinnost převodů: 0,9  
Účinnost přenosu výkonové elektrické soustavy: 0,8

**Napětí palubních sítí:**

Výkonová část: 48 V  
Osvětlovací a spotřebičová část: 12 V

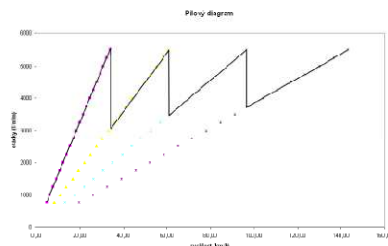
**Řešení vozidla s navrhovanou pohotovostní hmotností 800 kg**

**Navržené parametry převodové skříně**

**Navržené odstufování převodové skříně**

I	II	III	IV	R	SP
3,1	2,067	1,3	0,875	5,14	5,125

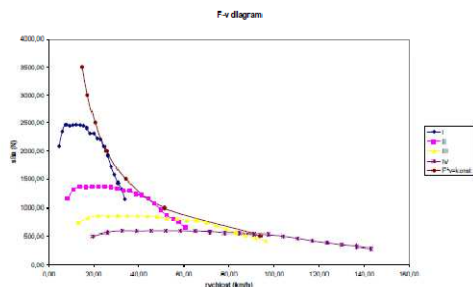
**Pilový diagram navržené převodové skříně**



- 3 -

- 4 -

F-v diagram navržené převodové skříně



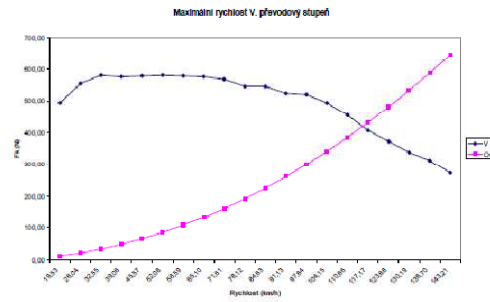
- 5 -

Jízdní výkony vozidla:

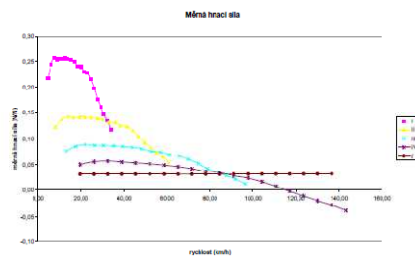
Maximální rychlost:

Teoretická maximální rychlost: 143,22 km/h (5500 ot/min)  
 Výpočtová maximální rychlost z měrné hnací síly: 91,13 km/h (3500 ot/min)  
 Výpočtová maximální rychlost z hlediska jízdních odporů (z měrné hnací síly): 117,17 km/h (4500 ot/min)

Graf výpočtu maximální rychlosti:



- 6 -

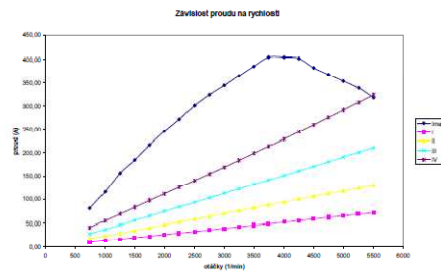


Stoupavost vozidla:

- I. rychlostní stupeň: 23%
- II. rychlostní stupeň: 11%
- III. rychlostní stupeň: 6%
- IV. rychlostní stupeň: 2%
- Zpětný chod: 33%

- 7 -

Teoretické minimální a maximální proudové odběry



Měrné hnací síly pro 50km/h

Rychlostní stupeň	II.		III.		IV.	
v (km/h)	49,00	52,36	48,20	52,58	45,67	52,08
p (N/N)	0,091	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05
p50 (N/N)	0,091		0,078		0,051	

Dynamické parametry vozidla:

Momentová pružnost motoru: 0,175  
 Otáčková pružnost motoru: 2  
 Celková pružnost motoru: 0,35

Součinitel rotačních hmot volen:  
 $\Delta_1=1,5$  - zvoleno z tab rozmezí 1,5-1,8  
 $\Delta_2=1,05$  - udán tabulkou

- 8 -

**Zrychlení vozidla:**

	I.	II.	III.	IV.
$l$	3,7	2,087	1,3	0,875
rot hm	1,34	1,21	1,10	1,05
$a$ (m/s <sup>2</sup> )	1,64	0,90	0,50	0,18

**Výpočet akcelerace**

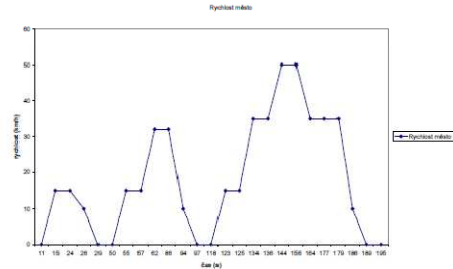
- 0 - 30 km/h = 5,1 s
- 0 - 50 km/h = 11,3 s
- 0 - 90 km/h = 32,2 s

**Parametry spotřeby vozidla**

Parametry spotřeby jsou napočítány dle parametrů testu NEDC

\*pro zjednodušení jsou počítány potřebné odběry pro danou hmotnost (pohotovostní hmotnost + zátěž 180kg, požadované rychlosti a požadovaná zrychlení, odběr proudu při zadane napěťové hladině a účinnosti elektrického přenosu

**Základní městský cyklus**

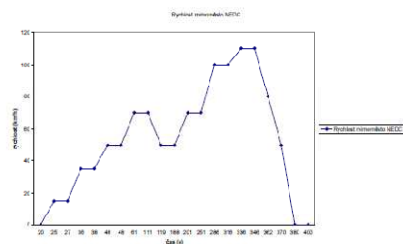


<b>Ustálené stavy:</b>	-0,92 m/s <sup>2</sup> - 2,59 Wh
15 km/h - 3,76 Wh	0,83 m/s <sup>2</sup> - 5,86 Wh
32 km/h - 21,55 Wh	0,94 m/s <sup>2</sup> - 7,51 Wh
50 km/h - 17,04 Wh	-0,75 m/s <sup>2</sup> - 12,25 Wh
35 km/h - 12,79 Wh	-0,92 m/s <sup>2</sup> - 2,59 Wh
	0,83 m/s <sup>2</sup> - 5,86 Wh
<b>Dynamické stavy:</b>	0,62 m/s <sup>2</sup> - 10,60 Wh
1,04 m/s <sup>2</sup> - 5,88 Wh	0,52 m/s <sup>2</sup> - 5,88 Wh
-0,69 m/s <sup>2</sup> - 0,65 Wh	-0,52 m/s <sup>2</sup> - 5,88 Wh
	-0,86 m/s <sup>2</sup> - 12,33 Wh
	-0,92 m/s <sup>2</sup> - 2,59 Wh

**Energie spotřebovaná na jeden městský cyklus**

Energie spotřebovaná bez použití rekuperace: 96,75 Wh  
 Energie spotřebovaná s použitím rekuperace: 57,86 Wh

**Základní mimoměstský cyklus**

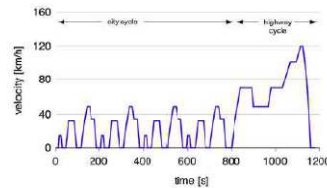


<b>Ustálené stavy:</b>	0,62 m/s <sup>2</sup> - 10,59 Wh
70 km/h - 101,38 Wh	0,52 m/s <sup>2</sup> - 5,88 Wh
50 km/h - 97,99 Wh	0,43 m/s <sup>2</sup> - 10,63 Wh
70 km/h - 133,72 Wh	0,43 m/s <sup>2</sup> - 10,63 Wh
100 km/h - 15,95 Wh	0,24 m/s <sup>2</sup> - 21,01 Wh
	0,26 m/s <sup>2</sup> - 10,67 Wh
<b>Dynamické stavy:</b>	-0,69 m/s <sup>2</sup> - 41,47 Wh
0,83 m/s <sup>2</sup> - 5,85 Wh	-1,04 m/s <sup>2</sup> - 23,55 Wh
	-1,39 m/s <sup>2</sup> - 65,75 Wh

**Energie spotřebovaná na jeden městský cyklus**

Energie spotřebovaná bez použití rekuperace: 543,15 Wh  
 Energie spotřebovaná s použitím rekuperace: 371,01 Wh

**Spotřeba pro celkový cyklus: NEDC**



**Energie spotřebovaná na jeden NEDC**

Energie spotřebovaná bez použití rekuperace: 919,15 Wh  
 Energie spotřebovaná s použitím rekuperace: 602,45 Wh

**Závod 7200 s dle spotřeb NEDC**

Energie spotřebovaná bez použití rekuperace: 5514,9 Wh  
 Energie spotřebovaná s použitím rekuperace: 3614,7Wh

**Koeficient bezpečnosti výsledku ?**

Energie spotřebovaná bez použití rekuperace: 11029,8 Wh  
 Energie spotřebovaná s použitím rekuperace: 7229,4 Wh

**Minimální teoretické proudové odběry:**

Stálé rychlosti	70 km/h - 152,07 A
15 km/h - 31,35 A	100 km/h - 226,42 A
32 km/h - 67,34A	
35 km/h - 73,78A	
50 km/h - 106,51A	

**Komentář energetické bilance:**

Tato bilance vychází pro nás velmi příznivě, je však nutné mít na paměti, že uvedené proudy jsou opravdu teoretické minimum pro překonání jízdních odporů, pro praktické použití je třeba uvést proudy násobní koeficientem 1,5-2. Z hlediska dimenzování baterií se nám nemaná, přestože energetická ztráta (kWh) je značná - pro nás je výhodné zvýšení koeficientu bezpečnosti na 2, což zvyšuje naše šance na úspěšný v soutěži i provozu.

# Příloha 7 - Výpočtová tabulka parametrů vozidla

## EHR 10

F <sub>k(N)</sub>	2026.62	2275.14	2381.81	2362.61	2373.28	2381.81	2373.28	2362.61	2328.48	2239.95	2239.95	2149.28	2133.28	2026.62	1866.62	1669.29	1528.50	1386.63	1279.97	1119.97
v <sub>k(m/h)</sub>	4.77	6.36	7.96	9.53	11.12	12.71	14.30	15.89	17.48	19.07	20.66	22.25	23.84	25.43	27.01	28.60	30.19	31.78	33.37	34.96
v <sub>(m/s)</sub>	1.32	1.77	2.21	2.65	3.09	3.53	3.97	4.41	4.86	5.30	5.74	6.18	6.62	7.06	7.50	7.95	8.39	8.83	9.27	9.71
O <sub>y(N)</sub>	1.36	2.42	3.79	5.45	7.42	9.70	12.27	15.15	18.33	21.82	25.61	29.70	34.09	38.79	43.79	49.09	54.70	60.61	66.82	73.33
p <sub>(mema)</sub>	0.19	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10
f	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
a <sub>(m/s<sup>2</sup>)</sub>	1.33	1.50	1.57	1.56	1.56	1.57	1.56	1.55	1.52	1.46	1.46	1.39	1.38	1.30	1.19	1.05	0.94	0.84	0.76	0.65
I <sub>(mm (A))</sub>	2.45969	3.290338	4.126444	4.96806	5.81523	6.6880014	7.52643	8.39056	9.260448	10.13614	11.01767	11.90512	12.7985	13.69789	14.60333	15.51487	16.43255	17.36642	18.28655	19.22296
F <sub>k(N)</sub>	1132.17	1271.01	1330.59	1319.87	1325.83	1330.59	1325.83	1319.87	1300.80	1251.34	1200.69	1191.75	1132.17	1042.79	932.55	853.89	774.64	715.05	625.67	
v <sub>k(m/h)</sub>	8.53	11.38	14.22	17.07	19.91	22.76	25.60	28.45	31.29	34.13	36.98	39.82	42.67	45.51	48.36	51.20	54.05	56.89	59.74	62.58
v <sub>(m/s)</sub>	2.37	3.16	3.95	4.74	5.53	6.32	7.11	7.90	8.69	9.48	10.27	11.06	11.85	12.64	13.43	14.22	15.01	15.80	16.59	17.38
O <sub>y(N)</sub>	4.37	7.77	12.14	17.48	23.79	31.07	39.32	48.55	58.74	69.91	82.05	95.16	109.23	124.28	140.31	157.30	175.26	194.19	214.10	234.98
p <sub>(mema)</sub>	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
f	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
a <sub>(m/s<sup>2</sup>)</sub>	0.78	0.89	0.93	0.92	0.92	0.91	0.90	0.89	0.87	0.82	0.81	0.76	0.75	0.69	0.61	0.51	0.44	0.36	0.30	0.22
I <sub>(mm (A))</sub>	4.437282	5.951407	7.483518	9.0339	10.6028	12.1905918	13.7975	15.4237	17.0697	18.73562	20.42178	22.12847	23.85596	25.60455	27.37451	29.16612	30.97967	32.81545	34.67372	36.55478
F <sub>k(N)</sub>	712.05	799.38	836.86	830.11	833.86	836.86	833.86	830.11	818.11	787.01	787.01	755.15	749.53	712.05	655.84	586.51	537.04	487.20	449.72	393.50
v <sub>k(m/h)</sub>	13.57	18.09	22.61	27.14	31.66	36.16	40.71	45.23	49.75	54.27	58.80	63.32	67.84	72.37	76.89	81.41	85.93	90.46	94.98	99.50
v <sub>(m/s)</sub>	3.77	5.03	6.28	7.54	8.79	10.05	11.31	12.56	13.82	15.08	16.33	17.59	18.85	20.10	21.36	22.61	23.87	25.13	26.38	27.64
O <sub>y(N)</sub>	11.05	19.64	30.68	44.18	60.14	78.55	99.42	122.74	148.51	176.74	207.42	240.56	276.16	314.20	354.71	397.66	443.08	490.94	541.26	594.04
p <sub>(mema)</sub>	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	-0.01	-0.02
f	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
a <sub>(m/s<sup>2</sup>)</sub>	0.50	0.57	0.59	0.57	0.56	0.55	0.53	0.51	0.47	0.42	0.40	0.34	0.31	0.24	0.16	0.07	-0.01	-0.10	-0.17	-0.26
I <sub>(mm (A))</sub>	7.129525	9.596561	12.11075	14.6732	17.2851	19.9475968	22.6618	25.4287	28.24968	31.12572	34.05799	37.04762	40.09576	43.20353	46.37206	49.6025	52.89598	56.25364	59.67659	63.16599
F <sub>k(N)</sub>	479.27	538.04	563.27	568.73	561.25	563.27	561.25	568.73	550.65	529.72	529.72	508.28	504.49	479.27	441.43	394.77	361.47	327.92	302.70	264.86
v <sub>k(m/h)</sub>	20.16	26.88	33.60	40.32	47.04	53.76	60.48	67.20	73.92	80.64	87.36	94.07	100.79	107.51	114.23	120.95	127.67	134.39	141.11	147.83
v <sub>(m/s)</sub>	5.60	7.47	9.33	11.20	13.07	14.93	16.80	18.67	20.53	22.40	24.27	26.13	28.00	29.87	31.73	33.60	35.46	37.33	39.20	41.06
O <sub>y(N)</sub>	24.38	43.35	67.73	97.53	132.75	173.39	219.45	270.92	327.81	390.13	457.86	531.00	609.57	693.56	782.96	877.78	978.02	1083.68	1194.76	1311.25
p <sub>(mema)</sub>	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.10
f	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
a <sub>(m/s<sup>2</sup>)</sub>	0.31	0.34	0.34	0.31	0.28	0.25	0.21	0.16	0.10	0.03	-0.03	-0.12	-0.19	-0.29	-0.40	-0.52	-0.64	-0.77	-0.89	-1.02
I <sub>(mm (A))</sub>	10.73999	14.52548	18.41993	22.4271	26.5506	30.7942004	35.1617	39.6567	44.28298	49.04427	53.94428	58.98672	64.17533	69.51381	75.00589	80.65529	86.46574	92.44094	98.58463	104.9005

# Příloha 8 - Určení výpočtové hmotnosti vozidla EHR

## 10

### Karoserie

Karoserie, pomocným ráám, dveře, maska	140kg
Kapoty	12,2kg
Plechý pod kapoty	4,4kg
Zadní pomocný ráám	8,6kg
přední blatníky	1,8kg
lak	5kg

### Zadní náprava

Nápravnice	16,6kg
Horní zadní ramena s klouby	6,4kg
Spodní zadní ramena s klouby a silentbloky	8,7kg
Pružící jednotky zadní s pružinami	9,8kg
Držáky pružících jednotek	0,8kg
Stabilizátor	3,2kg
Nosiče zadních kol	5,3kg
Náboje kol	3,4kg
Hřídele kol	6,3kg
Ložiska	1,2kg
Držáky ložisek	2,1kg
Řídící tyč s klouby	2,3kg
Brzdové kotouče zadní nevětrané	6,6kg
Brzdíče zadní	5,4kg

### Přední náprava

Nosiče předních kol	5,6kg
Přední ložiskové jednotky	8,2kg
Ramena přední spodní	5kg
Ramena přední horní krátká	1,6kg
Ramena přední horní dlouhá	1,7kg
Kulové klouby spodních ramen	0,8kg
Silentbloky spodních ramen	0,8kg
Kulové klouby horních ramen	1,3kg
Silentbloky horních ramen	1,4kg



---

Řízení s kulovými klouby	5,9kg
Sloupek řízení s prvním dílem hřídele	3,3kg
Hřídel řízení druhý díl	1,2kg
Držáky sloupku řízení	1,0kg
Přední brzdiče	6,2kg
Přední větrané kotouče	7,4kg

Hlavní brzdový válec + pedálová skupina	3,5kg
---	-------

**Kola**

Lité ráfky	48kg
Pneumatiky	32kg

**Interiér**

skořepinová sedadla	13,6kg
mechanika sedadel	2,5kg
Bezpečnostní pásy	6kg
volant	0,9kg
ruční brzda	2kg
polstrování ostatní	15kg
přístroje, ovládací prvky	2,8kg

**Elektroinstalace**

světelná elektroinstalace	10kg
držáky baterií	25kg
autobaterie12V	17kg
baterie	318kg
pohon	72kg
výkonové svazky	18kg

**Příslušenství vnější**

zrcátka	0,6kg
nárazníky	0,4kg
deflektory	1,3kg
Převodovky	
převodovka	29kg

ramena	3,6kg
--------	-------

<b>Celkový součet hmotnosti</b>	<b>922.7 kg</b>
---------------------------------	-----------------

**Rozložení hmotnosti EHR 10**

Přední náprava 472,7 kg - 51,2%

Zadní náprava 450 kg – 48,8%

# Příloha 9 - Otisk výpočtového modelu pro výpočet energetické náročnosti provozu vozidla EHR10

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
43	Vstupní parametry vypočít:																				
44																					
45	otáčky 1/min	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500
46	moment Nm	38	42,66	44,66	44,3	44,6	44,6	44,6	44,3	43,66	42	40,3	38	35	31,3	26,66	26	24	21		
47	v/kon (W)	3,1	4,44	6	7,11	8,23	9,44	10,44	11,55	12,44	13,2	14	14,78	15,5	15,8	15,4	14,88	14,11	13,56	13	12,2
48	otáčky 1/s	12,50	16,67	20,83	25,00	29,17	33,33	37,50	41,67	45,83	50,00	54,17	58,33	62,50	66,67	70,83	75,00	79,17	83,33	87,50	91,67
49																					
50																					
51	Převodovka																				
52		I	II	III	IV	V	R	BP													
53		9,7	2,027	1,3	0,875	0,675	5,14	5,125													
54																					
55	Valivý obvod pneu (mm)																				
56			2000																		
57																					
58	Poměry valení (m)																				
59			0,31																		
60	Navrhovaná hmotnost vozidla (kg)																				
61					200																
62	Zatížení oleje normy 2*90 kg																				
63					150																
64	Čelní plocha (mm)																				
65				1,4		lohle je odhad - asi se bude měnit															
66	Cx			0,45		odhad															
67	Bouřin Ck.S			0,63																	
68																					
69	účinnost převodu			0,9		součet vel 0,93															
70																					
71	napětí pohonu (V)			48																	
72	účinnost			0,8																	
73																					
74																					
75																					
76																					
77	Městský cyklus - štalové stavby										Mimoměstský cyklus - štalové stavby										
78																					
79	rychlost (km/h)	čas (s)	zařazení						rychlost (km/h)	čas (s)	zařazení										
80	15	9	II						70	50	V										
81	22	24	III						50	69	IV										
82	30	14	IV						70	80	IV										
83	35	13	IV						100	40	V										
84									110	10	V										
85																					
86	Moment ošetření a otáčky ošetření																				
87																					
88	60km/h	4,17	ms						70km/h	19,44	ms										
89	M (Nm)	42,00							M (Nm)	40,00											
90	Colmin	2500,00							Colmin	3750,00											
91	ois	41,67							ois	62,50											
92	omega	261,67							omega	392,50											
93	P (W)	10990,00	v/kon k dispozici						P (W)	15700,00	v/kon k dispozici										
94	Práce (J)	5906,94	v/kon použitelný						Práce (J)	185262,35	v/kon použitelný										
95	Po(W)	945,22	v/kon využití	1204,003648					Po(W)	3705,25	v/kon využití	5239,627922									
96	I (A)	31,35	ošetřeno/ pro	282,75	As/9s				I (A)	152,07	ošetřeno/ pro	7603,60	As								
97	Společba Wh	2,36	sekunda	13849,04	Wh				Společba Wh	51,46	sekunda	354976,75	Wh								
98	Společba Wh	21,47	9s	5,36	Wh				Společba Wh	2573,09	90s	101,35	Wh								
99																					
100																					
101	60km/h	8,89	ms	skutečnost 34	km/h				60km/h	13,89	ms										
102	M (Nm)	40,00							M (Nm)	40,00											
103	Colmin	2500,00							Colmin	2750,00											
104	ois	41,67							ois	45,83											
105	omega	261,67							omega	287,83											
106	P (W)	10456,67	v/kon k dispozici						P (W)	11513,33	v/kon k dispozici										
107	Práce (J)	38716,05							Práce (J)	94521,60	v/kon použitelný										
108	Po(W)	929,19	v/kon využití	2355,803457					Po(W)	106,81	ošetřeno/ pro	7349,48									
109	I (A)	27,34	ošetřeno/ pro	1819,88	As/24s				I (A)	108,81	ošetřeno/ pro	352774,86									
110	Společba Wh	10,75	sekunda	77574,10	Wh				Společba	352774,96	Wh	97,88									
111	Společba Wh	258,11	24s	21,38	Wh				Společba	97,99	Wh										
112																					
113	60km/h	13,89	ms						70km/h	25,00	ms										
114	M (Nm)	40,00							M (Nm)	40,00											
115	Colmin	2750,00							Colmin	3750,00											
116	ois	45,83							ois	62,50											
117	omega	287,83							omega	392,50											
118	P (W)	11513,33	v/kon k dispozici						P (W)	15700,00	v/kon k dispozici										
119	Práce (J)	94521,60							Práce (J)	306250,00	v/kon použitelný										
120	Po(W)	208,52	v/kon využití	4090,14429					Po(W)	6168,00	v/kon využití	7702,5375									
121	I (A)	106,81	ošetřeno/ pro	1276,17	As				I (A)	200,89	ošetřeno/ pro	10029,35									
122	Společba Wh	25,26	sekunda	81362,16	Wh				Společba	10029,35	As	481406,83									
123	Společba Wh	341,33	12s	17,46	Wh				Společba	481406,59	Wh	133,25									
124									Společba	133,72	Wh										
125	60km/h	9,72	ms						100km/h	27,80	ms										
126	M (Nm)	44,30							M (Nm)	24,00											
127	Colmin	2750,00							Colmin	5000,00											
128	ois	45,83							ois	83,33											
129	omega	287,83							omega	523,33											
130	P (W)	12751,00	v/kon k dispozici						P (W)	15700,00	v/kon k dispozici										

## Příloha 10 - Hmotnost vybraných komponentů vozidla osazeného E/E

Název dílu	počet ks	hmotnost za ks	hmotnost celek
<b>Karoserie</b>			
skelet	1	200	200
přední kapota	1	6	6
páté dveře	1	5	8
dveře	4	10	40
přední blatníky	2	5	10
lak			5
<b>Zadní náprava</b>			
Nápravnice			15
Spodní zadní ramena s klouby a silentbloky	2	4	8
Pružící jednotky zadní s pružinami	2	4,5	9
Držáky pružících jednotek	2	0,4	0,8
Stabilizátor	1	3	3
Nosiče zadních kol	2	2,5	5
Náboje kol	2	1,5	3
Ložiska	2	0,75	1,5
ložiskové domky	2	1	2
hřídele kol	2	3	6
Brzdové kotouče zadní nevětrané			6
Brzdíče zadní			5
<b>Přední náprava</b>			
Nosiče předních kol	2	3	6
Přední ložiskové jednotky	2	4	8
Ramena přední spodní	2	2,5	5
Kulové klouby spodních ramen	2	0,4	0,8
Silentbloky spodních ramen	2	0,7	1,4
Řízení s kulovými klouby	1	6	6
mechanismus řízení	1	5	5
pružící jednotky	2	4,5	9
hřídele kol	2	3,5	7
Přední brzdíče	2	2,5	5
Přední větrané kotouče	2	3	6
brzdový systém	1	6	6
<b>Kola</b>			
Lité ráfky	4	10	40

Pneumatiky	4	8	32
<b>Interiér</b>			
sedadla	4	8	32
mechanika sedadel	2		10
Bezpečnostní pásy	4	3	12
volant			2,5
ruční brzda			2
polstrování ostatní			30
<b>Elektroinstalace</b>			
světelná elektroinstalace			10
držáky baterií			10
autobaterie12V			17
baterie			250
pohon greenmotorsport	2	30	60
výkonové svazky			30
osvětlení vozidla			10
fotovoltaický panel s příslušenstvím	1	10	10
generátor	1	30	30
<b>Příslušenství vnější</b>			
zrcátka	2	0,5	1
nárazníky	2	4	10
<b>Převodovky</b>			
převodovka	3	25	75
<b>Motor s příslušenstvím</b>			
motor s příslušenstvím	1	80	80
<b>Prosklení vozidla</b>			
přední sklo	1	7	7
zadní sklo	1	5	5
boční skla	4	2,5	10

# Příloha 11 - výsledná část výpočtu křivek spalovacího motoru s prodlouženou expanzí

n/s	25,00	29,17	33,33	37,50	41,67	45,83	50,00	54,17	58,33	62,50	66,67	70,83	75,00	79,17	83,33	87,50	91,67	95,83
tlásky	1500,00	1750,00	2000,00	2250,00	2500,00	2750,00	3000,00	3250,00	3500,00	3750,00	4000,00	4250,00	4500,00	4750,00	5000,00	5250,00	5500,00	5750,00
teoretický ldt. výkon	14449,26	16857,47	19265,68	21673,89	24082,10	26490,31	28898,52	31306,73	33714,94	36123,15	38531,36	40939,57	43347,78	45755,99	48164,20	50572,41	52980,62	55388,83
moment	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00
n/vz	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
1 pF	23687,31	27635,20	31583,08	35530,97	39478,85	43426,74	47374,62	51322,51	55270,39	59218,28	63166,16	67114,05	71061,93	75009,82	78957,70	82905,59	86853,47	90801,36
výkon indikovaný	7630,63	8902,40	10174,17	11445,94	12717,71	13989,48	15261,25	16533,02	17804,79	19076,56	20348,33	21620,10	22891,88	24163,65	25435,42	26707,19	27978,96	29250,73
účinnost	0,81	0,86	0,87	0,90	0,90	0,91	0,93	0,96	0,94	0,93	0,91	0,88	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,72
ze	11703,90	14497,42	16761,14	19506,50	21673,89	24106,18	26875,62	30054,46	31692,04	33594,53	34909,41	36026,82	37279,09	38435,03	39013,00	39852,20	40265,27	39879,96
l	74,55	79,15	80,07	82,83	82,83	85,75	85,59	86,35	86,51	85,59	83,38	80,99	79,15	77,31	74,55	72,71	69,95	66,26
γ	11,70	14,48	16,76	19,51	21,67	24,11	26,88	30,05	31,69	33,59	34,91	36,03	37,28	38,44	39,01	39,95	40,27	39,88

## **Příloha 12 - Písemné svolení využití dipl práce panem prof. Píštěkem**

Vážený pane profesore.

Dovolte abych se na Vás obrátil s prosbou. Rád bych Vás požádal o svolení k citování Vámi vedené diplomové práce pana Bc. Stanislava Tokaře - Mechanismus jednoválcového zážehového motoru s prodlouženou expanzí.

Jelikož ve své disertační práci řeším hybridní pohon, který svými parametry si přímo říká o využití motoru s Atkinsonovým cyklem, rád bych použil parametry motoru, které navrhl Váš diplomant (zdvihy pístu, rychlosti atd) s tím, že motor budu nadále upravovat na dvouválcové provedení.

Samozřejmě všechny zdroje budou řádně uvedeny dle příslušné metodiky.

S pozdravem

Ing.Petr Kleisner

Katedra Konstruování Strojů

Fakulta strojní ZČU v Plzni

Dobrý den,

využití zmíněné diplomové práce pro Vaše účely samozřejmě nic nebrání,  
přeji úspěšné řešení zajímavého tématu a zdravím.

V. Píštěk

Prof. Dr.sc.techn. Vaclav PISTEK

Brno University of Technology

Institute of Automotive Engineering

Technická 2

616 69 Brno

Czech Republic

## **Příloha 13 - Písemné svolení využití dipl práce panem Ing. Fišerem**

Dobrý den,  
na Strojní fakultě ZČU v Plzni dokončuji disertační práce na rámcové téma "Energetické hodnocení komponent v dopravní technice". Předmětem mé práce je systémový návrh hybridního pohonu automobilu s důrazem na hodnocení spotřeby. Rád bych Vás tedy poprosil o svolení k citování některých závěrů diplomové práce STUDIE PASIVNÍHO CHLAZENÍ KABINY OSOBNÍHO AUTOMOBILU, kterou pod Vaším vedením vypracoval Bc. PETR VIŠČOR.

S pozdravem  
Ing. Petr Kleisner

Dobrý den,

děkuji za dotaz. Samozřejmě práci citovat můžete nevidím v tom jediný problém. Mohu se jen zeptat, které části vás nejvíce zaujali a které závěry vám přijdou důležité.

Díky za odpověď

s pozdravem

Jan Fiser, Eng. Ph.D.  
Brno University of Technology  
Faculty of Mechanical Engineering  
Department of Thermodynamics and Environmental Engineering - Energy Institute  
Technická 2896/2  
619 69 Brno, Czech Republic



# Příloha 14 - Tabulka vypočtených parametrů v módu spalovacího motoru

3467,258874	3681,577	3725,615	3853,815	3854,206	3896,162	3982,504	4111,117	4025,074	3982,21	3879,748	3768,617	3682,556	3597,21	3468,433	3382,958	3254,809	3083,426	2826,506
Fr(N)	Fr(kmh)	v(m/s)	Cr(N)	Cr(kmh)	Cr(m/s)	Cr(N)	Cr(kmh)	Cr(m/s)	Cr(N)	Cr(kmh)	Cr(m/s)	Cr(N)	Cr(kmh)	Cr(m/s)	Cr(N)	Cr(kmh)	Cr(m/s)	Cr(N)
11,0520173	12,87069	14,70936	16,54803	18,3867	20,22537	22,06403	23,9027	25,74137	27,58004	29,41871	31,25738	33,09605	34,93472	36,77339	38,61206	40,45073	42,2894	44,12807
3,064449249	3,575191	4,085932	4,596674	5,107415	5,618157	6,128898	6,63964	7,150382	7,661123	8,171865	8,682606	9,193348	9,704089	10,21483	10,72557	11,23631	11,74706	12,2578
3,848324926	5,237998	6,841467	8,658731	10,68979	12,93465	15,3933	18,06575	20,95199	24,05203	27,36587	30,8935	34,63482	38,59015	42,75917	47,14198	51,73859	56,549	61,5732
0,266821826	0,304455	0,30797	0,318436	0,3183	0,321589	0,328556	0,338965	0,351601	0,327794	0,319034	0,309539	0,302102	0,294707	0,283697	0,276255	0,265262	0,25067	0,228977
0,010004868	0,010007	0,010009	0,010011	0,010014	0,010016	0,010019	0,010023	0,010027	0,01003	0,010035	0,010039	0,010044	0,010049	0,010054	0,01006	0,010065	0,010072	0,010078
1,50865242	1,604746	1,623888	1,680917	1,680163	1,69807	1,735913	1,792737	1,75258	1,731813	1,684049	1,632252	1,591717	1,551385	1,491375	1,450765	1,39082	1,311264	1,193003
Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)
2131,932865	2263,712	2290,79	2369,617	2369,857	2395,655	2448,744	2527,826	2474,92	2448,564	2385,562	2317,231	2264,314	2211,836	2132,655	2080,098	2001,303	1895,924	1737,95
17,94186885	20,93218	23,92249	26,9128	29,90311	32,89343	35,88374	38,87405	41,86436	44,85467	47,84498	50,8353	53,82561	56,81592	59,80623	62,79654	65,78685	68,77716	71,76748
4,983852459	5,814495	6,645137	7,475779	8,306421	9,137063	9,967705	10,79835	11,62899	12,45963	13,29027	14,12092	14,95156	15,7822	16,61284	17,44348	18,27413	19,10477	19,93541
10,178815	13,8545	18,09567	22,90233	28,27449	34,21213	40,71526	47,78388	55,41799	63,61759	72,38288	81,71326	91,60934	102,0709	113,0979	124,6905	136,8485	149,572	162,861
0,175712744	0,186322	0,188213	0,194343	0,193918	0,195563	0,199421	0,205384	0,200371	0,197509	0,191566	0,185134	0,179932	0,17472	0,167249	0,161937	0,154404	0,144624	0,130441
0,010012876	0,010018	0,010023	0,010029	0,010036	0,010043	0,010052	0,01006	0,01007	0,01008	0,01009	0,010103	0,010116	0,010129	0,010143	0,010158	0,010173	0,010189	0,010206
1,152848015	1,226626	1,239747	1,282354	1,27935	1,29074	1,317525	1,358935	1,324006	1,304024	1,262596	1,217767	1,181488	1,145132	1,093058	1,055995	1,003482	0,935322	0,836526
Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)
1475,741734	1566,96	1585,704	1640,268	1640,435	1658,292	1695,041	1749,782	1713,16	1694,916	1651,306	1604,006	1567,377	1531,052	1476,242	1439,861	1385,318	1312,374	1203,023
25,91975208	30,23971	34,55967	38,87963	43,19559	47,51955	51,8395	56,15946	60,47942	64,79938	69,11934	73,4393	77,75926	82,07921	86,39917	90,71913	95,03909	99,35905	103,679
7,199931133	8,39992	9,599908	10,7999	11,99989	13,19987	14,39986	15,59985	16,79984	17,99983	19,19982	20,3998	21,59979	22,79978	23,99977	25,19976	26,39975	27,59974	28,79972
21,24337679	28,9146	37,796	47,7976	59,00938	71,40135	84,97351	99,72585	115,6584	132,7711	151,064	170,5371	191,1904	213,0239	236,0375	260,2314	285,6054	312,1596	339,894
0,120454064	0,127373	0,128192	0,13188	0,130966	0,131418	0,133338	0,136649	0,132297	0,129369	0,124242	0,118713	0,113969	0,109152	0,102707	0,097691	0,091073	0,082833	0,07148
0,010026873	0,010037	0,010048	0,01006	0,010075	0,01009	0,010107	0,010126	0,010146	0,010168	0,010191	0,010216	0,010242	0,010269	0,010299	0,010329	0,010361	0,010395	0,01043
0,895281601	0,951298	0,957849	0,987646	0,980115	0,983658	0,99908	1,025777	0,990328	0,966414	0,924663	0,879631	0,840959	0,801686	0,749198	0,692784	0,634362	0,587284	0,494959
1126,079047	1195,684	1209,587	1251,623	1251,75	1265,376	1293,418	1335,188	1307,243	1293,322	1260,045	1223,953	1196,002	1168,284	1126,46	1098,7	1057,081	1001,42	917,9785
Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)
33,96818366	39,62955	45,25091	50,95228	56,61364	62,275	67,93637	73,59773	79,2591	84,92046	90,58182	96,24319	101,9046	107,5659	113,2273	118,8886	124,55	130,2114	135,8727
9,435006571	11,00821	12,58081	14,15341	15,72601	17,29861	18,87121	20,44381	22,01642	23,58902	25,16162	26,73422	28,30682	29,87942	31,45202	33,02462	34,59722	36,16982	37,74243
36,48434178	49,65924	64,86105	82,08977	101,3454	122,6279	145,9374	171,2737	198,637	228,0271	259,4442	292,8882	328,3591	365,8509	405,3816	446,9332	490,5117	536,1171	583,7495
0,090234622	0,094908	0,096855	0,095271	0,094637	0,095028	0,096389	0,091809	0,088222	0,082865	0,077106	0,071854	0,066453	0,059716	0,053976	0,046943	0,038534	0,027679	0,0148
0,010046154	0,010063	0,010082	0,010104	0,010128	0,010155	0,010185	0,010217	0,010251	0,010288	0,010328	0,010371	0,010415	0,010463	0,010513	0,010565	0,010621	0,010678	0,010738
0,702365071	0,743152	0,742331	0,759845	0,745756	0,739967	0,745141	0,754781	0,714359	0,682617	0,635341	0,584531	0,538134	0,490413	0,439968	0,38023	0,317947	0,249987	0,148382
Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)	Fr(kmh)	Fr(m/s)	Fr(N)
917,7498344	974,4778	986,1342	1020,067	1020,171	1031,276	1054,13	1088,173	1065,398	1054,052	1016,932	997,5164	974,7368	952,1465	918,0607	895,4361	861,5164	816,153	748,1487
41,67896135	48,62545	55,57195	62,51844	69,46494	76,41143	83,35792	90,30442	97,25091	104,1974	111,1439	118,0904	125,0369	131,9834	138,9299	145,8764	152,8229	159,7694	166,7158
11,57748926	13,50707	15,43665	17,36623	19,29582	21,2254	23,15498	25,08456	27,01414	28,94372	30,8733	32,80289	34,73247	36,66205	38,59163	40,52121	42,45079	44,38038	46,30996
54,92823459	74,76343	97,65019	123,5885	152,5784	184,6199	219,7129	257,8575	299,0537	343,3015	390,6008	440,9517	494,3541	550,8081	610,3137	672,8709	738,4796	807,1399	878,8518
0,071454442	0,07451	0,07358	0,074242	0,07185	0,070116	0,069102	0,068762	0,065465	0,058861	0,052698	0,046902	0,039783	0,032327	0,025486	0,018432	0,010189	0,000746	-0,01082
0,010069485	0,010095	0,010124	0,010156	0,010193	0,010234	0,010278	0,010326	0,010378	0,010434	0,010494	0,010558	0,010625	0,010697	0,010772	0,010851	0,010934	0,011021	0,01112
0,573510876	0,601821	0,592862	0,598741	0,570048	0,559471	0,549586	0,545961	0,549378	0,545441	0,539402	0,533199	0,527414	0,521058	0,514747	0,508432	0,502119	0,495806	0,489494

# Příloha 15 - Tabulka vypočtených parametrů v módu elektromobilu

	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500
$F_k(N)$	3503,076451	3932,664	4117,037	4083,85	4102,287	4117,037	4102,287	4083,85	4024,85	3871,821	3871,821	3715,105	3687,449	3503,076	3226,518	2885,429	2642,057	2396,842	2212,469	1935,911
$v(km/h)$	5,516008648	7,354678	9,193348	11,03202	12,87069	14,70936	16,54803	18,3867	20,22537	22,06403	23,9027	25,74137	27,58004	29,41871	31,25738	33,09605	34,93472	36,77339	38,61206	40,45073
$v(m/s)$	1,532224624	2,042966	2,553708	3,064449	3,575191	4,085932	4,596674	5,107415	5,618157	6,128898	6,63964	7,150382	7,661123	8,171865	8,682606	9,193348	9,704089	10,21483	10,72557	11,23631
$O_p(N)$	0,826075441	1,468579	2,294654	3,304302	4,497522	5,874314	7,434679	9,178616	11,10613	13,21721	15,51186	17,99090	20,65189	23,47926	26,5262	29,73872	33,1348	36,71446	40,4777	44,4245
$p(mema\ hr)$	0,375442416	0,421425	0,441102	0,437436	0,439284	0,440718	0,43897	0,436806	0,430275	0,413644	0,413398	0,396332	0,393082	0,373012	0,34304	0,306131	0,279677	0,253006	0,232838	0,202768
$f$	0,010001217	0,010002	0,010003	0,010005	0,010007	0,010009	0,010011	0,010014	0,010019	0,010023	0,010023	0,010027	0,01003	0,010035	0,010039	0,010044	0,010049	0,010054	0,01006	0,010065
$a(m/s^2)$	1,991654534	2,242257	2,349486	2,329499	2,337366	2,347366	2,352339	2,352339	2,347366	2,337366	2,329499	2,324988	2,319972	2,314856	2,30974	2,304624	2,299508	2,294392	2,289276	2,28416
$F_k(N)$	2153,956219	2418,099	2531,465	2511,059	2522,396	2531,465	2522,396	2511,059	2474,782	2380,688	2380,688	2284,327	2267,322	2153,956	1983,907	1774,18	1624,536	1473,76	1360,393	1190,344
$v(km/h)$	8,970934427	11,96125	14,95156	17,94187	20,93218	23,92249	26,9128	29,90311	32,89344	35,88377	38,87405	41,86436	44,85467	47,84498	50,8353	53,82561	56,81592	59,80623	62,79654	65,78685
$v(m/s)$	2,49192623	3,322568	4,15321	4,983852	5,814495	6,645137	7,475779	8,306421	9,137063	9,967705	10,79835	11,62899	12,45963	13,29027	14,12091	14,95156	15,7822	16,61284	17,44348	18,27413
$O_p(N)$	2,184968591	3,884389	6,069357	8,739874	11,89594	15,53755	19,66472	24,27743	29,37569	34,9595	41,02885	47,58376	54,62421	62,15022	70,16177	78,65887	87,64152	97,10972	107,0635	117,5028
$p(mema\ hr)$	0,2306706	0,258805	0,270723	0,26825	0,269126	0,269708	0,268294	0,266584	0,262148	0,251463	0,250812	0,23978	0,237202	0,224242	0,205154	0,18176	0,164756	0,147577	0,134037	0,115009
$f$	0,010003219	0,010006	0,010009	0,010013	0,010018	0,010023	0,010029	0,010036	0,010043	0,010052	0,01006	0,01007	0,01008	0,010092	0,010103	0,010116	0,010129	0,010143	0,010158	0,010173
$a(m/s^2)$	1,532281567	1,731005	1,813906	1,796668	1,802737	1,806747	1,796863	1,78492	1,754008	1,679607	1,675018	1,598192	1,580186	1,489942	1,357055	1,194208	1,075806	0,956191	0,864112	0,72939
$F_k(N)$	1490,986483	1673,829	1752,301	1738,176	1746,024	1752,301	1746,024	1738,176	1713,065	1647,932	1647,932	1581,23	1569,459	1490,986	1373,277	1228,102	1124,518	1020,149	941,6757	823,9662
$v(km/h)$	12,95987604	17,27983	21,59979	25,91975	30,23971	34,55967	38,87963	43,19959	47,51955	51,83951	56,15946	60,47942	64,79938	69,11934	73,4393	77,75926	82,07921	86,39917	90,71913	95,03909
$v(m/s)$	3,59965567	4,799554	5,99943	7,19931	8,39918	9,59908	10,79895	11,99882	13,19869	14,39856	15,59843	16,7983	17,99817	19,198	20,39787	21,59774	22,7976	23,99747	25,19734	26,3972
$O_p(N)$	4,560070206	8,106791	12,66686	18,24028	24,82705	32,42717	41,04063	50,66745	61,30761	72,96112	85,62798	99,3082	114,0018	129,7087	146,4289	164,1625	182,9095	202,6698	223,4434	245,2304
$p(mema\ hr)$	0,15934541	0,178566	0,186489	0,184378	0,184513	0,184371	0,182775	0,180902	0,177069	0,168837	0,16748	0,158863	0,156026	0,145929	0,131519	0,114055	0,100941	0,087634	0,076995	0,062041
$f$	0,010006718	0,010012	0,010019	0,010027	0,010037	0,010048	0,01006	0,010075	0,01009	0,010107	0,010126	0,010146	0,010168	0,010191	0,010216	0,010242	0,010269	0,010299	0,010329	0,010361
$a(m/s^2)$	1,21075419	1,366541	1,430726	1,413539	1,414556	1,413316	1,40027	1,384968	1,353769	1,286893	1,275733	1,205708	1,182531	1,10049	0,983455	0,841656	0,735111	0,626992	0,540487	0,418987
$F_k(N)$	1137,711701	1277,231	1337,111	1326,332	1332,32	1337,111	1326,332	1326,332	1307,171	1257,471	1257,471	1206,573	1197,591	1137,712	1047,892	937,1152	858,0741	778,4349	718,5548	628,7354
$v(km/h)$	16,98409183	22,64546	28,30682	33,96818	39,62955	45,29091	50,95228	56,61364	62,275	67,93637	73,59773	79,2591	84,92046	90,58182	96,24319	101,9046	107,5659	113,2273	118,8886	124,54
$v(m/s)$	4,717803286	6,290404	7,863005	9,435607	11,00821	12,58081	14,15341	15,72601	17,29861	18,87121	20,44381	22,01642	23,58902	25,16162	26,73422	28,30682	29,87942	31,45202	33,02462	34,59722
$O_p(N)$	7,831672037	13,92297	21,75464	31,32669	42,6391	55,69189	70,48505	87,01858	105,2925	125,3068	147,0614	170,5564	195,7918	222,7676	251,4837	281,9402	314,1371	348,0749	383,7519	421,1699
$p(mema\ hr)$	0,121123518	0,135427	0,141007	0,138825	0,138254	0,137369	0,135269	0,132855	0,128842	0,121368	0,119036	0,111061	0,107993	0,099802	0,085375	0,070235	0,05831	0,046135	0,038891	0,022251
$f$	0,010011538	0,010021	0,010032	0,010046	0,010063	0,010082	0,010104	0,010128	0,010155	0,010185	0,010217	0,010251	0,010288	0,010328	0,010371	0,010415	0,010463	0,010513	0,010565	0,010621
$a(m/s^2)$	0,973221896	1,098427	1,147197	1,127965	1,12282	1,114893	1,096314	1,074954	1,039568	0,973851	0,953143	0,882988	0,850534	0,786632	0,656961	0,523956	0,419092	0,31201	0,221825	0,101871
$F_k(N)$	927,2304	1040,398	1089,74	1080,955	1085,836	1089,74	1085,836	1080,955	1065,339	1024,834	1024,834	983,3522	976,032	927,2304	854,028	763,745	699,3269	634,4208	585,6192	512,4168
$v(km/h)$	20,83948067	27,78597	34,73247	41,67896	48,62545	55,57195	62,51844	69,46494	76,41143	83,35792	90,30442	97,25091	104,1974	111,1439	118,0904	125,0369	131,9834	138,9299	145,8764	152,8229
$v(m/s)$	5,785744631	7,718326	9,647908	11,57749	13,50707	15,43665	17,36623	19,29582	21,2254	23,15498	25,08456	27,01414	28,94372	30,8733	32,80289	34,73247	36,66205	38,59163	40,52121	42,45079
$O_p(N)$	11,79080937	20,96144	32,75225	47,16324	64,19441	83,84576	106,1173	131,009	158,5209	188,6529	221,4052	256,7776	294,7702	335,383	378,616	424,4691	472,9425	524,036	577,7497	634,0835
$p(mema\ hr)$	0,098135431	0,109342	0,113309	0,110823	0,10952	0,107832	0,105026	0,101835	0,097211	0,091331	0,084639	0,078031	0,073031	0,063446	0,050964	0,03637	0,024268	0,011833	0,000844	-0,01304
$f$	0,010017371	0,010031	0,010048	0,010069	0,010095	0,010124	0,010156	0,010193	0,010234	0,010278	0,010326	0,010378	0,010434	0,010494	0,010558	0,010625	0,010697	0,010772	0,010851	0,010934
$a(m/s^2)$	0,823274447	0,927848	0,964754	0,941324	0,92892	0,912878	0,886355	0,856194	0,81362	0,741458	0,708204	0,630743	0,564837	0,494724	0,377512	0,240533	0,126799	0,009915	-0,0935	-0,2401

# Příloha 16 - Tabulka vypočtených parametrů v módu paralelního hybridu

	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500
Fk(N)	8057,9977	7783,744	7842,743	7956,132	7938,156	7921,101	7854,266	7982,866	7739,955	7669,433	7382,734	6995,091	6567,807	6239,164	5865,348	5595,243	5190,545
v(km/h)	11,0320173	12,87069	14,70936	16,54803	18,3867	<b>20,22537</b>	<b>22,06403</b>	<b>23,9027</b>	<b>25,74137</b>	<b>27,58004</b>	29,41871	31,25738	33,09605	34,93472	36,77339	38,61206	40,45073
v(m/s)	3,064449249	3,575191	4,085932	4,596674	5,107415	5,618157	6,128898	6,63964	7,150389	7,661131	8,171873	8,682616	9,193358	9,704100	10,214842	10,725584	11,236326
Ov(N)	3,304301763	4,497522	5,874314	7,434679	9,178616	11,10613	13,21171	15,51186	17,99009	20,65189	23,49726	26,52626	29,73872	33,1348	36,71446	40,4777	44,4245
p(mem/h)	0,837057461	0,808433	0,814421	0,826042	0,823993	0,82202	0,814855	0,827981	0,80248	0,794874	0,764784	0,724185	0,679447	0,644941	0,605722	0,577261	0,534794
f	0,010004868	0,010007	0,010009	0,010011	0,010014	0,010016	0,010019	0,010023	0,010027	0,010031	0,010035	0,010039	0,010044	0,010049	0,010054	0,010060	0,010066
a(m/s <sup>2</sup> )	4,50743663	4,351421	4,384046	4,44737	4,436187	4,425421	4,386355	4,457872	4,31887	4,277399	4,113386	3,892096	3,648249	3,460163	3,246388	3,091246	2,859769
Fk(N)	4954,666135	4786,034	4822,311	4892,031	4880,978	4870,492	4829,397	4908,469	4759,11	4715,747	4539,463	4301,11	4038,384	3836,309	3606,46	3440,378	3191,54
v(km/h)	17,94186885	20,93218	23,92249	26,9128	29,90311	<b>32,89343</b>	<b>35,88374</b>	<b>38,87405</b>	<b>41,86436</b>	<b>44,85467</b>	47,84498	50,8353	53,82561	56,81592	59,80623	62,79654	65,78685
v(m/s)	4,983852459	5,814495	6,645137	7,475779	8,306421	9,137063	9,967705	10,79835	11,62899	12,45963	13,29027	14,12092	14,95156	15,782	16,61264	17,44348	18,27413
Ov(N)	8,79874563	11,89594	15,53755	19,66472	24,27743	29,37569	34,9595	41,02885	47,58376	54,62421	62,15022	70,16177	78,65887	87,64152	97,10972	107,0635	117,5028
p(mem/h)	0,513989083	0,496137	0,499528	0,506345	0,504717	0,503097	0,498246	0,505833	0,489663	0,484432	0,46529	0,439687	0,411501	0,389568	0,364698	0,346404	0,319459
f	0,010012876	0,010018	0,010023	0,010029	0,010036	0,010043	0,010052	0,01006	0,01007	0,01008	0,01009	0,010103	0,010116	0,010129	0,010143	0,010158	0,010173
a(m/s <sup>2</sup> )	3,506387653	3,382147	3,405706	3,45309	3,441716	3,430395	3,396588	3,449309	3,365111	3,299996	3,167019	2,988808	2,793619	2,639925	2,466794	2,339414	2,151841
Fk(N)	3429,661276	3312,933	3338,044	3386,305	3378,654	3371,395	3342,949	3397,684	3294,295	3264,279	3142,254	2977,265	2795,403	2655,525	2496,421	2381,459	2209,21
v(km/h)	25,91975208	30,23971	34,55967	38,87963	43,19959	<b>47,51955</b>	<b>51,8395</b>	<b>56,15946</b>	<b>60,47942</b>	<b>64,79938</b>	69,11934	73,4393	77,75926	82,07921	86,39917	90,71913	95,03909
v(m/s)	7,199931133	8,39992	9,599908	10,7999	11,99989	13,19987	14,39986	15,59985	16,79984	17,99983	19,19982	20,3998	21,59979	22,79978	23,99977	25,19976	26,39975
Ov(N)	18,24028083	24,82705	32,42717	41,04063	50,66745	61,30761	72,96112	85,62798	99,3082	114,0018	129,7087	146,4289	164,1625	182,9095	202,6698	223,4434	245,2304
p(mem/h)	0,354520682	0,341706	0,343525	0,347646	0,34585	0,34399	0,339823	0,344194	0,332029	0,327382	0,313069	0,294185	0,273443	0,256958	0,238371	0,224265	0,2041
f	0,010026873	0,010037	0,010048	0,01006	0,010075	0,01009	0,010107	0,010126	0,010146	0,010168	0,010191	0,010216	0,010242	0,010269	0,010299	0,010329	0,010361
a(m/s <sup>2</sup> )	2,792962201	2,688986	2,703649	2,73695	2,722278	2,70707	2,673145	2,60964	2,571795	2,555563	2,502265	2,433887	2,350006	2,255016	2,14908	2,03468	1,910726
Fk(N)	2617,03631	2527,965	2547,127	2583,953	2578,115	2572,576	2550,869	2592,635	2513,744	2490,84	2397,727	2271,831	2133,06	2026,324	1904,919	1817,195	1685,759
v(km/h)	33,96818366	39,62955	45,29091	50,95228	56,61364	<b>62,275</b>	<b>67,93637</b>	<b>73,59773</b>	<b>79,2591</b>	<b>84,92046</b>	90,58182	96,24319	101,9046	107,5659	113,2273	118,8886	124,55
v(m/s)	9,435606571	11,00821	12,58081	14,15341	15,72601	17,29861	18,87121	20,44381	22,01642	23,58902	25,16162	26,73422	28,30682	29,87942	31,45202	33,02462	34,59722
Ov(N)	31,32668815	42,6391	55,69189	70,48505	87,01858	105,2925	125,3068	147,0614	170,5564	195,7918	222,7676	251,4837	281,9402	314,1371	348,0743	383,7519	421,1699
p(mem/h)	0,268771349	0,258279	0,258914	0,261204	0,258879	0,256404	0,252069	0,254148	0,243508	0,238505	0,226026	0,209958	0,192371	0,177933	0,16179	0,148966	0,131418
f	0,010046154	0,010063	0,010082	0,010104	0,010128	0,010155	0,010185	0,010217	0,010251	0,010288	0,010328	0,010371	0,010415	0,010453	0,010491	0,01053	0,01057
a(m/s <sup>2</sup> )	2,265629973	2,174111	2,179503	2,199367	2,17879	2,156879	2,118645	2,136579	2,043079	1,998935	1,889278	1,748172	1,593741	1,466863	1,325025	1,21224	1,058059
Fk(N)	2132,873928	2060,282	2075,898	2105,911	2101,153	2096,639	2078,948	2112,387	2048,691	2030,025	1954,138	1851,533	1738,435	1651,446	1552,501	1481,007	1373,887
v(km/h)	41,67896135	48,62545	55,57195	62,51844	69,46494	<b>76,41143</b>	<b>83,35792</b>	<b>90,30441</b>	<b>97,25091</b>	<b>104,1974</b>	111,1439	118,0904	125,0369	132,9834	140,9299	148,8764	156,8229
v(m/s)	11,57748926	13,50707	15,43665	17,36623	19,29582	21,2254	23,15508	25,08466	27,01424	28,94372	30,8733	32,80289	34,73247	36,66205	38,59163	40,52121	42,45079
Ov(N)	47,16323748	64,19441	83,84576	106,1173	131,009	158,5209	188,6529	221,4052	256,7776	294,7702	335,383	378,616	424,4691	472,9425	524,036	577,7497	634,0835
p(mem/h)	0,216750608	0,207437	0,207017	0,207822	0,204741	0,201413	0,196433	0,196576	0,186219	0,180331	0,168224	0,153068	0,13655	0,122472	0,10688	0,093868	0,076882
f	0,010069485	0,010095	0,010124	0,010156	0,010193	0,010234	0,010278	0,010326	0,010378	0,010434	0,010494	0,010558	0,010625	0,010697	0,010772	0,010851	0,010934
a(m/s <sup>2</sup> )	1,930992206	1,84374	1,839552	1,846762	1,817631	1,740109	1,642852	1,587317	1,473646	1,331452	1,179911	1,044301	0,897921	0,775614	0,661638	0,5592206	0,461638

1.rychl

2.rychl

3.rychl

4.rychl

5.rychl

## Příloha 17 – Vztahová základna výpočtů parametrů a spotřeby

Výpočet výkonu vozidla při daných otáčkách

$$P = M_t \cdot \omega = M_t \cdot 2\pi \cdot n \text{ [W]}$$

Síla na kolech

$$F_k = \frac{M_t \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta}{r} \text{ [N]}$$

Výpočet rychlosti

$$v = \frac{22,6 \cdot r \cdot n}{i_0 \cdot i_k} \text{ [m/s]}$$

Odpor vzduchu

$$O_v = 0,05 \cdot c_x \cdot S \cdot v^2 \text{ [N]}$$

Výpočet měrné hnací síly

$$p = \frac{F_k - O_v}{m_p \cdot g + 180 \cdot g} \text{ [N/N]}$$

Poměry výpočtu součinitele rotačních hmot

$$\frac{i_I - i_{\max}}{i_I - i_{II}} = \frac{\delta_{KI} - \delta_{K \max}}{\delta_I - \delta_{II}}$$

Výpočet zrychlení

$$a = g \cdot \frac{p - f}{\delta} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Pružnost motoru

$$\text{Momentová: } e_M = \frac{M^M - M^P}{M^P}$$

$$\text{Otáčková: } e_n = \frac{n^P}{n^M}$$

Celková pružnost motoru :  $e_C = e_M \cdot e_n$

Výpočet měrné hnací síly pro danou rychlost (50 km/h)

$$P_{x50} = P_{pod50} - \frac{(p_{pod50} - p_{nad50}) \cdot (50 - v_{pod50})}{v_{nad50} - v_{pod50}} \text{ [N]}$$

Určení maximální stoupavosti vozidla

$$s_{\max} = p_{1\max} - of_{p\max}$$

Výpočet stálého převodu hnací nápravy

$$i_0 = 22,62 \cdot \frac{n^P}{v_{\max}}$$

Vztahová základna pro výpočet spotřeby elektrické energie elektromobilu

Tíhová síla

$$G = m \cdot g \text{ [N]}$$

Úhel sklonu vozovky

$$\frac{s}{100} = \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} \frac{s}{100} \text{ [}^\circ\text{]}$$

Valivý odpor

$$O_f = G \cdot f \cdot \cos \alpha \text{ [N]}$$

Odpor sklonu

$$O_s = G \cdot \sin \alpha \text{ [N]}$$

Odpor vzduchu

$$O_v = 0,05 \cdot c_x \cdot S \cdot v^2 \text{ [N]}$$

Odpor ve zrychlení

$$O_z = m \cdot a \cdot (\text{souč rotačních hmot}) \text{ [N]}$$

Hnací síla na kole

$$F_k = \sum_i O_i = O_f + O_v + O_s + O_z \text{ [N]}$$

Výkon na hnacích kolech

$$P_k = F_k \cdot v \text{ [W]}$$

Požadovaný výkon motoru

$$P_{sm} = \frac{P_k}{\eta_{pu}} \text{ [W]}$$

Spotřeba el. Energie

$$P_{sp} = U \cdot I \cdot (1 + el.ztráty) \text{ [W / s]}$$

Transformační poměr:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

Kompresní poměr:

$$\varepsilon_1 = \frac{V_1}{V_2}$$

Teoretická účinnost motoru:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon_2^{\kappa-1}}$$

Hmotnostní průtok vzduchu:

$$\dot{m}_s = \frac{p_1 \cdot (3 \cdot V_s)}{r \cdot T_1} \cdot \frac{n}{2 \cdot 60} \text{ [kg/s]}$$

Tepelný průtok:

$$\dot{Q}_{př} = \dot{m}_s \cdot c_{vvzduch} \cdot (T_3 - T_2) + \dot{m}_s \cdot c_{pvzduch} \cdot (T_4 - T_3) \text{ [W]}$$

Teoretický výkon při maximálních otáčkách:

$$P = \eta_t \cdot \dot{Q}_{př} \text{ [W]}$$

Výpočet teoretické spotřeby paliva:

$$\dot{m}_{pal} = \frac{\dot{Q}_{př}}{q_n} [kg/h]$$

Výpočet příkonu elektromotorů:

$$P = \frac{F_H \cdot v}{3600} \cdot \frac{1}{\eta} [Ws]$$

# Příloha 18 – SW a použité přístroje vytvoření disertační práce

## Použitý sw

- Textový editor MS Word 2007
- Textový editor PS Pad
- Textový editor Open Office org. Writer 3.3
- Tabulkový procesor MS Excel 2007
- Moje trasy Google 2009
- Google Sketch Up
- utrack. crempa. net

## Použité měřící přístroje

- Navigace TomTom sn J45308102953
- Samsung GT-SS830 - GINGERBREAD.XWKPY
- Multimetr VOLTCRAFT AT-200 08123841
- Multimetr VOLTCRAFT AT-200 08123854
- SCOOPmeter UT81 A
- Meteostanice WS 1600