

## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

**WP18:** Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla

### **Vedoucí konsorcia podílející se na pracovním balíčku**

České vysoké učení technické v Praze, zodpov. osoba doc. Ing. Pavel Mindl, CSc.

### **Členové konsorcia podílející se na pracovním balíčku**

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava -doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

## **Hlavní cíl balíčku**

Sestavit spolehlivé simulační procedury, využívající experimentálně zjištěná data a parametry jednotlivých elektrických součástí pohonu (motory, frekvenční měniče, atd.). Problematika návrhu a výpočtů mechanických děličů výkonu založených na ozubených kolech zejména formou planetových převodů. Výzkum a optimalizace regulačního systému automobilního trakčního synchronního motoru s permanentními magnety zohledňujícího specifika elektrického pohonu pro silniční vozidla.

## WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla

### Dílčí cíle balíčku pro nejbližší období

- Problematika návrhu a výpočtů mechanických děličů výkonu založených na ozubených kolech zejména formou planetových převodů. Cílem je nalezení reálných okrajových podmínek pro vytvoření metodologie optimalizace konstrukce děličů výkonu s vhodným poměrem vybraných parametrů jimiž jsou zejména trvanlivost, hmotnost, a hluk. Tvorba metodologie návrhu pro dělení výkonu na základu skutečného jízdního výkonového zatěžovacího spektra elektromobilu. **(VŠB-TUO) 2013**
- Systém rychlé kontroly koncepce návrhu pohonu a jeho proveditelnosti. (VŠB-TUO) 2014
- Měření a analýza dat vybraných perspektivních motorů pro použití v elektrickém pohonu vozidel a stanovení jejich bezpečné provozní oblasti.(ČVUT - FS) 2014
- Vývoj a experimentální verifikace simulačního programu pro elektrické a hybridní pohonné systémy.(ČVUT - FEL) 2014

## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

### **Popis výstupů a výsledků**

Naplňování dílčích cílů probíhá postupně systematickou prací členů řešitelského týmu. Výsledky jsou získávány jak teoreticko- analytickou cestou, tak formou experimentálních prací zaměřených na získání výchozích podkladů pro simulační postupy.

Dosažené výsledky jsou po zpracování publikovány na odborných konferencích a v odborných časopisech.

Pro experimentální práci jsou využívána laboratorní pracoviště na domovských fakultách jednotlivých řešitelů. Pro řešení projektu se upravuje i laboratorní pracoviště ve VTP Rožtoky.

**V roce 2013 byly práce zaměřeny do oblastí:**

- **Návrh hardware a software pro optimalizaci řízení pohonu elektromobilu (ná vaznost na WP19)**
- **Návrh hardware a software pro optimalizaci řízení hybridního pohonu se superkapacitorem**
- **Návrh a ověřování software pro návrh mechanických děličů výkonu**

## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

### **Popis výstupů a výsledků**

TE01020020V016 WP18V002:

Určení dělení výkonu na základu skutečného jízdního výkonového zatěžovacího spektra elektromobilu.

Řešitel prof. Němček VŠB-TUO

**Termín dosažení výsledku 12/2013**

Výstup: software

#### **PLANETA**

Program pro kinematické, výkonové a momentové řešení jednoduché planetové převodovky nebo diferenciálu. Pro navržený typ převodovky nebo diferenciálu (15 možných variant) se vypočtou otáčky, výkony a krouticí momenty na všech vstupech a výstupech.

#### **Výpočet geometrie vnitřního ozubení vyráběného nestandardním způsobem**

Cílem práce bylo vyřešení problému výpočtu geometrie vnitřního ozubení vyráběného nestandardním způsobem. Tyto atypické nástroje (obrážecí kolečka typu Fellow) jsou využívány při výrobě ozubení, které se používá při stavbě planetových převodů a děličů momentu. Vyřešení tohoto problému (návrh atypických nástrojů) umožňuje širší možnosti při návrhu těchto zařízení. Teoretický rozbor je v článku, který byl publikován na konferenci –54 International Conference of Machine Design Departments (10.-12.9. 2013, Hejnice).

## WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla

### Popis výstupů a výsledků

**Návrh počtu zubů a korekcí**

Satelitní k: 3  
Přenosnost  $\Delta$ : 0.0  
Korekce  $x_{1, \text{sat}}$ : 0.000  
Zubů  $z_{\text{sat}}$ : 27  
Modul  $m_n$  [mm]: 1.000  
Korekce  $x_{\text{sat}}$ : 0.4000  
Zubů  $z_{\text{sat}}$ : 30  
Úhel  $\alpha_n$ : 20.0000  
Korekce  $x_{\text{sat}}$ : -0.4000  
Zubů  $z_{\text{sat}}$ : 27  
Úhel  $\beta$ : 0.0000  
Korekce  $x_{\text{sat}}$ : 0.4000  
Zubů  $z_{\text{sat}}$ : 30  
Výška hl.  $h_{a0}^*$ : 1.000  
Korekce  $x_{\text{sat}}$ : -5.000  
Zubů  $z_{\text{sat}}$ : 120  
Krok pro  $x_1, x_2$ : 0.05  
Korekce  $x_{\text{sat}}$ : 0.000

**Planeta** — program pro kinematické, výkonové a momentové řešení jednoduché planetové převodovky nebo diferenciálu. Pro navržený typ převodovky nebo diferenciálu (15 možných variant) se vypočtou otáčky, výkony a krouticí momenty na všech vstupech a výstupech. Dále se pokračuje určením příslušného počtu zubů.

**Výbrání řešení:**  
 $z_1 = 27$   $z_2 = 29$   $z_3 = 81$   $u = 4.000$   
 $x_1 = 0.100$   $x_2 = 0.250$   $x_3 = -3.207$   $a_u = 28.335$

**Výsledky výpočtu, počet nalezených řešení**

| z1 | z2 | z3 | x1  | x2   | x3  |
|----|----|----|-----|------|-----|
| 27 | 29 | 81 | 0.1 | 0.15 | 0.1 |
| 27 | 29 | 81 | 0.1 | 0.2  | 0.1 |
| 27 | 29 | 81 | 0.1 | 0.25 | 0.1 |
| 27 | 29 | 81 | 0.1 | 0.3  | 0.1 |
| 27 | 29 | 81 | 0.1 | 0.35 | 0.1 |
| 27 | 29 | 81 | 0.1 | 0.4  | 0.1 |

Počet zubů se stanoví numerickým výpočtem pro 18 vstupů. Zobrazí se všechna nalezená řešení. Uživatel si vybere vyhovující řešení a toto se mu zobrazí v pohledu (příslušné hlavové průměry ozubených kol). Řešení je provedeno jak pro standardní profil tak i pro libovolné nestandardní ozubení s přímými i šikmými zuby.

**Transformace a dělení výkonu a momentu — jednoduchá planetovka (diferenciál)**

Převod  $u_{1,2}^2$ : 4.000  
Přípustný rozsah:  $> 2$

[kW] 80.00  $\rightarrow P_1$   $\leftarrow P_2$   
[ot/min] 13000  $\rightarrow n_1$   $\leftarrow n_2$   
[Nm] 58.76  $\rightarrow T_1$   $\leftarrow T_2$   
 $n_0 = 9750$

**Geometrie pro výpočet patních křivek ozubených kol**

Blukování:  
☒ Centrální kolo 1  
☒ Věvec 2  
☒ Unášec U  
☒ Diferenciál

Verze 3  
Vstup momentu:  
☒ 1  
☒ 2  
☒ U

Počet zubů

### Zadávací formulář programu PLANETA

**Gear Geometry Checking**

Inputs | Test dimensions | Identification | External | Internal | Bevel | Fellow

**Obligatory input:**

Normal module  $m_n$ : 1.0000 [mm]  
Number of teeth of pinion  $z_1$ : 20.0  
Number of teeth of wheel  $z_2$ : 80.0  
Helix angle at ref. cylinder  $\beta$ : 0.0000 [°]  
Common facewidth  $b$ : 10.00 [mm]

**Computing input:**

Sum of AMC  $x_\Sigma$ : 1.113385  
Pinion AMC  $x_1$ : 0.764030  
Wheel AMC  $x_2$ : -1.877415  
Working centre distance  $a$ : 31.000000 [mm]  
Working pressure angle  $\alpha_{wt}$ : 24.580194 [°]  
Normal backlash  $j_n$ : 0.000 [mm]

**Basic rack tooth profile:**

☒ Standard ☐ Nonstandard ☐ Rounded root

Pinion addendum  $f_1$ :  
Wheel addendum  $f_2$ :  
Pinion tip clearance  $c_{t1}$ :  
Wheel tip clearance  $c_{t2}$ :  
Pinion root rounding  $r_{f1}$ :  
Wheel root rounding  $r_{f2}$ :  
Normal flank angle  $\alpha_{f0}$ :  
Optional input:  
Pinion tip diameter  $d_{t1}$ :  
Wheel tip diameter  $d_{t2}$ :  
Calculating tip di...

**Fellow Cutter**

Teeth number  $z_0$ : 35  
Addendum mod. coeff.  $x_0$ : 0.0000  
Root rounding radius fact.  $\rho_{f0}^*$ : 0.3800  
Tip rounding radius factor  $\rho_{a0}^*$ : 0.4022  
☐ Max. operating height of the tool tooth ( $d_{L0} = d_{b0}$ )  
☒ Fully rounded tip  $ca0 = 0.2203$   
Diameter  $d_{L0}$ : 33.45 [mm] Angle  $\alpha_{L0}$ : 10.55 [°]  
Diameter  $d_{a0}$ : 37.50 [mm] Thickness  $s_{a0}$ : 0.49 [mm]

OK Back Help

COMPLEX CHECKING DEC DMS Save Open Help End

Ukázka zadávacího formuláře softwaru  
Geometrie pro výpočet patních křivek  
ozubených kol

## WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla

### Popis výstupů a výsledků

#### Probíhající řešení s termínem ukončení 12/2014

TE01020020DV003

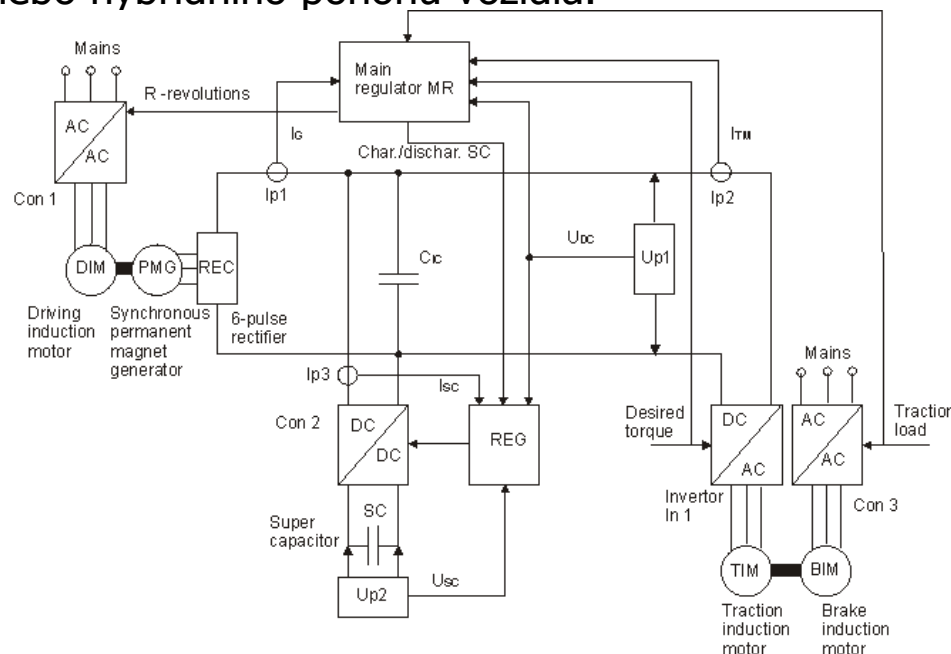
#### 1.1.8.2. Název dílčího výstupu

WP18V004: Algoritmus řízení elektrického nebo hybridního pohonu vozidla.

Řešitel doc. Mindl

Výstup: software (12/2014)

V prostředí dSpace je rozpracován algoritmus řízení sériového hybridního pohonu se superkapacitorovým zásobníkem energie. V současné době (10./2013) je dopracován a odladěn algoritmus robustního regulátoru nabíjení a vybíjení superkapacitoru s cílem dosáhnout stabilizace stejnosměrného napětí v meziobvodu během přechodných stavů pohonu.



Block diagram of serial hybrid drive with super-capacitor storage

## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

### **Popis výstupů a výsledků**

TE01020020DV004

1.1.8.2. Název dílčího výstupu

WP18V005: Systém rychlé kontroly koncepce návrhu pohonu a jeho proveditelnosti. (VŠB-TUO)

Řešitel prof. Němček

Výstup: software (12/2014)

TE01020020DV005

1.1.8.2. Název dílčího výstupu

WP18V003: Kritické stavy vybraných elektrických motorů.

Řešitel doc. Chyský

Výstup: jiný- publikace (12/2014)

## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

### **Popis výstupů a výsledků**

#### **Publikace na konferencích**

Haubert,T.-Bauer,J.-Mindl,P.: USING OF dSPACE DS1103 FOR ELECTRIC VEHICLE POWER CONSUMPTION MODELING, Computing 2013 Praha

Mindl, P.: Voltage Balance Circuit for Li-Ion Accumulator  
EDPE 2013 Dubrovnik

Mindl,P- Mňuk,P-Čerovský-Z.: Testing Bench for Measurement of Electric Cars Powertrains Characteristics, ISEM 2013 Praha

Haubert, T-Mindl,P: Optimization of DC/DC Power Converter for Super-capacitor Charging and Discharging, TRANSCOM 2013, 24-26 June 2013 University of Žilina, Žilina, Slovak Republic

HAUBERT, T.-MINDL,P.-CEROVSKY,Z. – MNUK, P.:

Control Strategy of Energy Flow in Hybrid Propulsion System with Super-capacitor  
*EVS27 Symposium Barcelona, Spain, November 17-20, 2013*

## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

### **Popis výstupů a výsledků**

#### **Další výstupy**

##### **Nová metoda**

Čeřovský Z.: NOVÁ METODA EXPERIMENTÁLNÍHO URČENÍ REAKTANCÍ (INDUKČNOSTÍ) V PODÉLNÉM A PŘÍČNÉM SMĚRU SYNCHRONNÍCH STROJŮ S PERMANENTNÍMI MAGNETY.

Nová metoda umožňuje stanovit vlastní indukčnost statorového vinutí v podélné a příčné ose přímým experimentem. Přínosem metody je skutečnost, že je použitelná na všechna dnes známá konstrukční uspořádání permanentních magnetů bez ohledu na použitý materiál permanentních magnetů. (Plastické ferro-durrové materiály, Sintrované ferro-durrové materiály, Sintrované materiály ze vzácných zemin a podobné.)

#### **Článek v odborném časopisu**

Lesso,M- Sadil,J.: Analýza a návrh aplikace akumulátorů pro elektromobil  
ELEKTRO 6/2013

## WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla

### Popis výstupů a výsledků

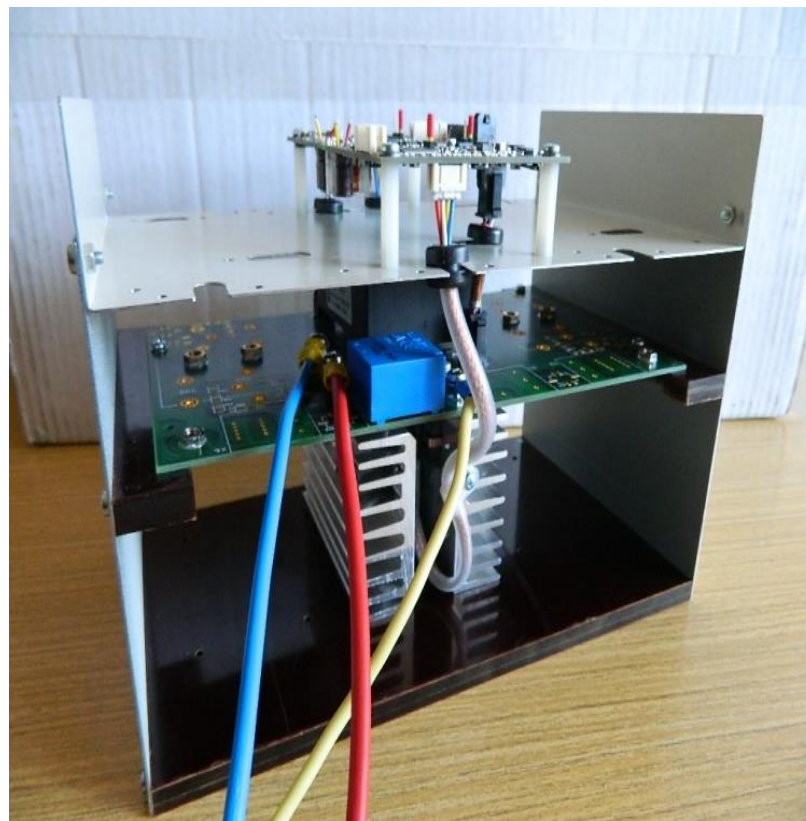
#### Další výstupy

Ing. Pavel Mňuk

**Návrh a realizace střídače s tranzistory JFET SiC**

**Měření účinnosti střídače s JFET tranzistory.**

Pro vyhodnocení účinnosti je rozpracována realizace trojfázového střídače, který je osazen JFET SiC tranzistory a SiC zpětnými diodami. Vstupní napětí je do 600V a výstupní proud do 20A. Dále byl navržen a realizován budicí obvod hradla výkonového JFET tranzistoru včetně ochrany s využitím FPGA. V současné době je vyrobena jedna větev střídače a společně s budičem je testována v režimu pulsního měniče se sníženým napětím a zatěžovacím proudem.

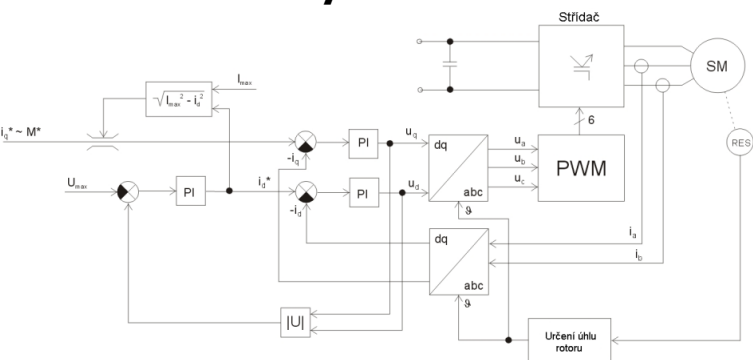


## WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla

### Popis výstupů a výsledků Studie regulace pro trakční PMSM pro dodávkový automobil

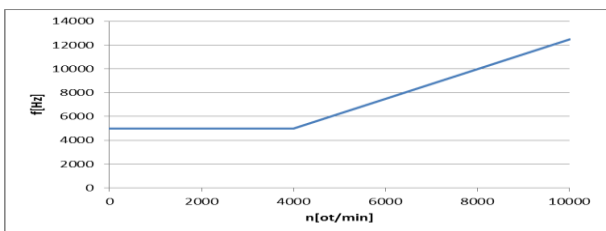
#### • Parametry PMSM automobilu:

- počet pólů 10
- jmenovité napětí DC vstupu střídače 650V
- trvalý moment 208Nm
- trvalý výkon 112kW
- maximální otáčky 10 000 ot/min
- maximální moment 311Nm
- maximální proud 300A
- maximální výkon jízda/brzda 158/162kW



#### • Charakteristika metody:

- lineární struktura v transformovaných souřadnicích
- lineární regulátor odbuzování v oblasti trakční hyperboly
- implementace omezení momentu v odbuzování od maximálního proudu a od zátěžného úhlu
- symetrická PWM s frekvencí 5kHz do 4000 ot/min a s frekvencí lineárně rostoucí do 12kHz při 10 000 ot/min
- kompenzace kolísání vstupního napětí střídače

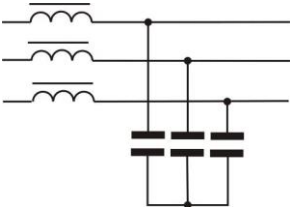


#### • Výstup: Novák, J.: Regulační struktura momentu pro trakční synchronní motory s permanentními magnety, Technická zpráva ČVUT v Praze, FS 2013

## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

### **Popis výstupů a výsledků**

### **Vyšetřování ztrát odrušovacích prvků pro nabíječky elektromobilů a další zařízení s pulsním odběrem**

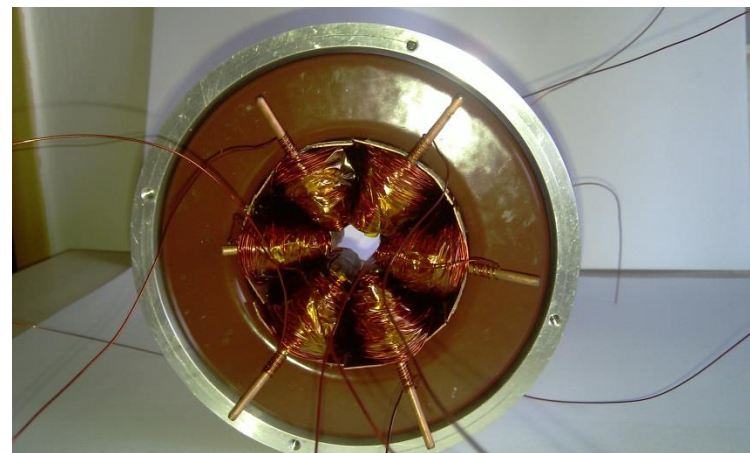
- Ztráty sinusových filtrů:- Jouleovy  $\sim RI^2$  - snadný analytický výpočet
- 
- - v magnetickém obvodu od 1. harmonické proudu - podle katalogových údajů výrobce
- - v magnetickém obvodu od vyšších harmonických proudu – předmět výzkumu
- Výsledky výzkumu:
- 
- - dobrá shoda výsledků – do 10%
- - nezanedbatelné ztrátové výkony od vyšších harmonických – až  $\approx 100W$  u filtrů  $\approx 100A \rightarrow$  vliv na tepelné dimenzování zařízení
- - významná závislost velikosti ztrát na frekvenci PWM
- **Výstup: Novák, J., Chyský, J., Kořínek, P: Ztráty sinusových filtrů pro měniče se spínacími tranzistory, časopis Elektro, ročník 2013, číslo 10, ISSN 1210- 0889**

## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

### **Popis výstupů a výsledků**

#### **Vývoj vlastního vysokootáčkového stroje**

- dosaženo cca 30 000 min<sup>-1</sup>, výkon do 100 W
- Větší prototyp – zatím několik tisíc otáček, čekáme na výkonnější napájecí zdroj



video

**WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent  
(motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

**Návrh dalšího postupu včetně návrhů na spolupráci a realizaci  
výstupů**

- **Dopracovat rozpracované úkoly**
- **Formalizované výsledky přenést do znalostní databáze DASY**
- **Publikovat výsledky pokud možno v impaktovaných časopisech  
a na prestižních konferencích**
- **Využít know – how v dalších pracovních balíčcích – zde zejména  
pak ve WP19 a WP 17**

## WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla

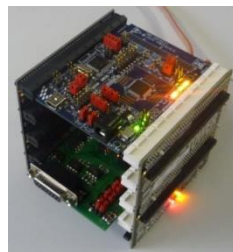
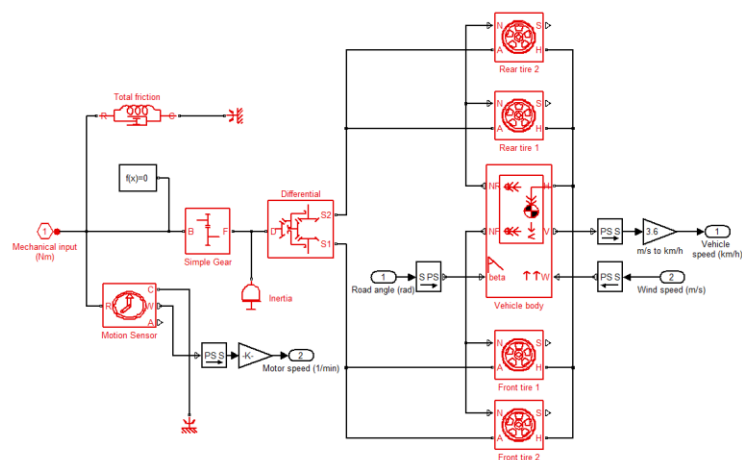
### Abstrakt

- V rámci WP18 již byly splněny 2 výstupy:  
TE01020020V003 WP18V001: Experimentální zkušební zařízení pro zkoušení komponent elektrického pohonu, systém rychlé kontroly koncepce a proveditelnosti elektrického pohonu vozidla.

Řešitel doc. Mindl ČVUT

Termín dosažení výsledku 12/2012

Výstup: funkční vzorek



## WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla

### Abstrakt

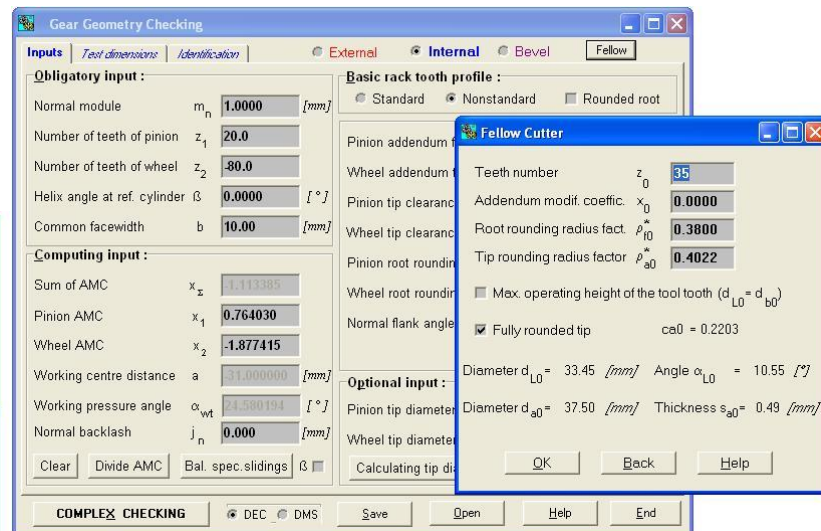
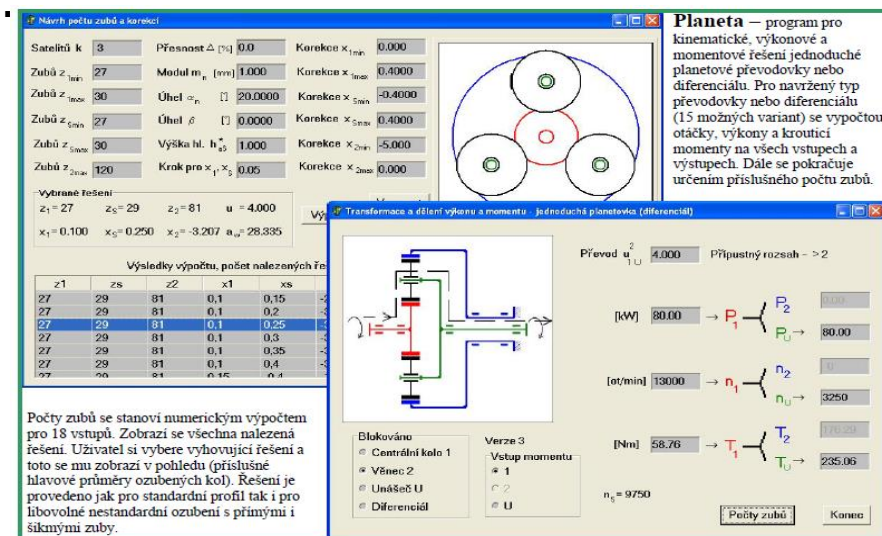
TE01020020V016 WP18V002:

Určení dělení výkonu na základu skutečného jízdního výkonového zatěžovacího spektra elektromobilu.

Řešitel prof. Němček VŠB-TUO

Termín dosažení výsledku 12/2013

Výstup: software



## **WP18: Vývoj a návrh elektrických přenosů a jejich komponent (motory, frekvenční měniče, akumulátory energie) pro silniční vozidla**

### **Abstrakt**

Rozpracovány jsou úkoly s datem plnění 12/2014:

WP18V004: Algoritmus řízení elektrického nebo hybridního pohonu vozidla.

Řešitel doc. Mindl (ČVUT)

TE01020020DV004

1.1.8.2. Název dílčího výstupu

WP18V005: Systém rychlé kontroly koncepce návrhu pohonu a jeho proveditelnosti. (VŠB-TUO)

Řešitel prof. Němček

TE01020020DV005

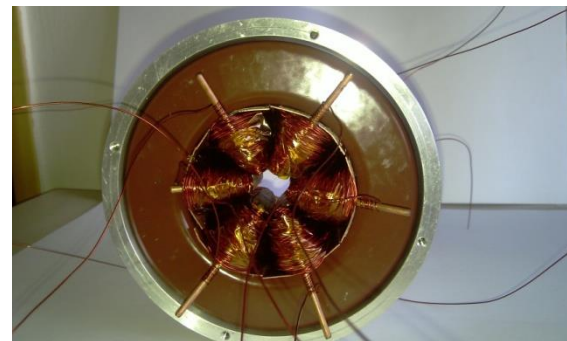
1.1.8.2. Název dílčího výstupu

WP18V003: Kritické stavy vybraných elektrických motorů.

Řešitel doc. Chyský (ČVUT)

V rámci spolupráce mezi řešiteli se využívají nové poznatky i při řešení úkolů ostatních WP.

V případě WP18 je těsná vazba na WP17 a WP19



## WP18: Development and design of electric transmissions and its components (motors, frequency converters, energy accumulators) for automotive

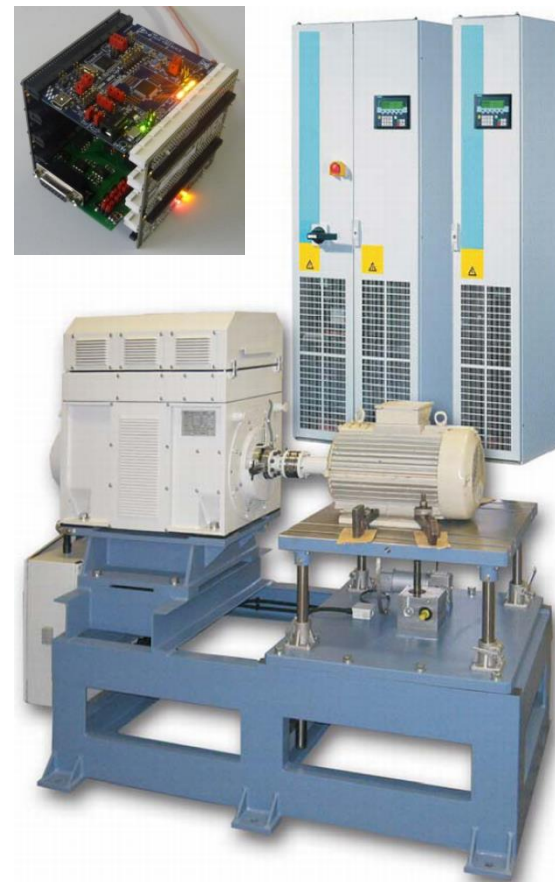
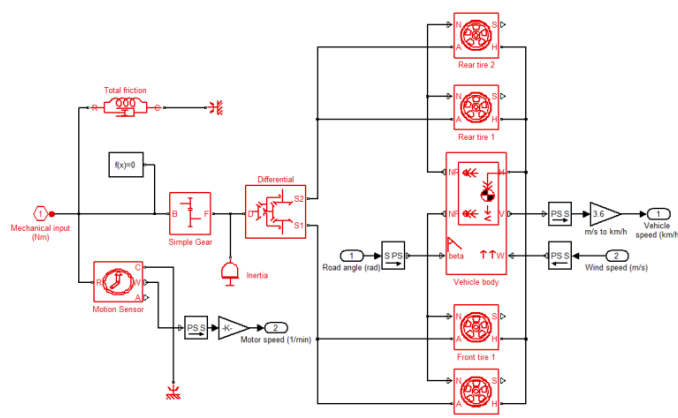
### Abstract

In the frame of WP18 two outputs are finished:  
TE01020020V003 WP18V001: Experimental  
testing bench for electric drive components testing  
and system for prompt concept and feasibility of  
automotive electric drive controlling.

Solver doc. Mindl ČVUT

Delivery time of result 12/2012

Output: functional specimen



## WP18: Development and design of electric transmissions and its components (motors, frequency converters, energy accumulators) for automotive

### Abstract

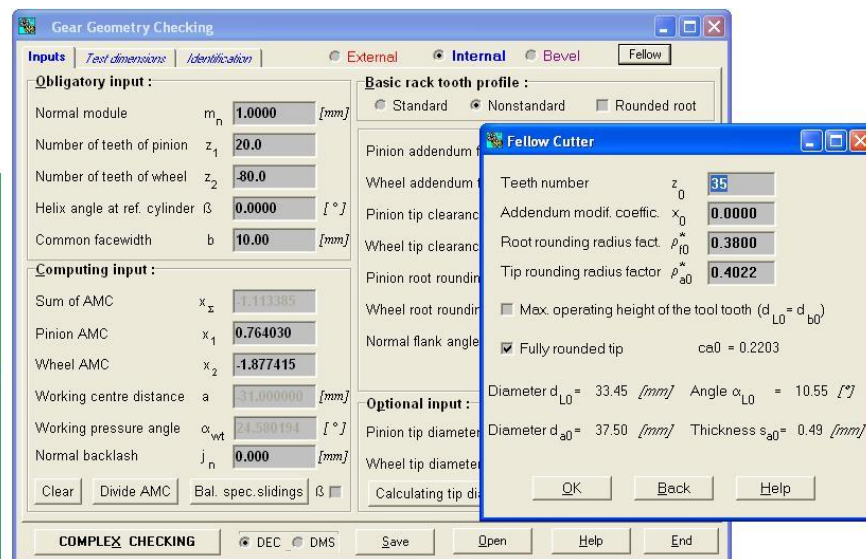
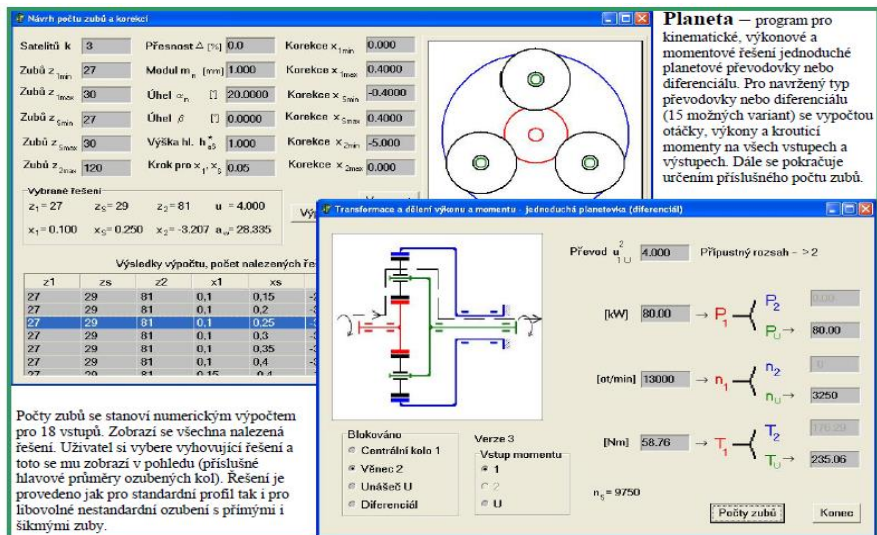
TE01020020V016 WP18V002:

Determination of power splitting on the basis of electro-mobile real driving power load spectrum

Solver prof. Němček VŠB-TUO

Delivery time of result 12/2013

Output: software



## **WP18: Developement and design of electric transmissions and itc components (motors, frequency converters, energy accumulators) for automotive**

### **Abstract**

Solved problems with delivery time 12/2014:

WP18V004: Control algorithm of electric or hybrid automotive drive

Solver doc. Mindl (ČVUT)

TE01020020DV004

WP18V005: Quick system of drive concept and its feasibility inspection. (VŠB-TUO)

Solver prof. Němček

TE01020020DV005

WP18V003: Critical states of selected electric motors.

Solver doc. Chyský (ČVUT)

Thanks to solver 's cooperation are new findings utilized in other WP.

In the case of WP18 is relatively strong tie to the WP17 and WP19 .

