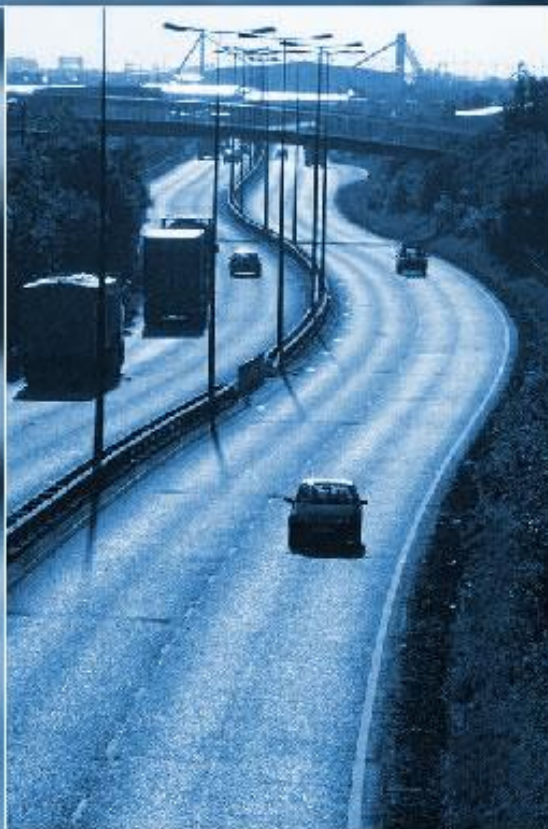




Fakulta dopravní

Ústav dopravní telematiky

**Provozní testování elektrických
akumulátorů energie a jejich
modelování**

Jindřich Sadil, Martin Leso
sadil@fd.cvut.cz leso@fd.cvut.cz

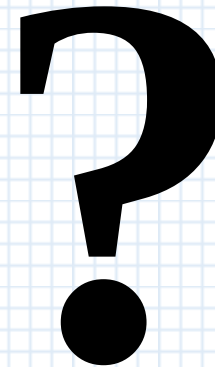
Stav k 6.10.2014

Obsah

- Testování elektrických akumulátorů energie v laboratoři
 - Důvody pro testování
 - Rozsah testování
 - Popis pracoviště
 - Parametry testování
 - HW a SW řešení pracoviště
 - Vybrané výsledky testování
 - Plán rozvoje
- Testování elektrických akumulátorů energie na vozidle
- Modelování elektrických akumulátorů energie a BEV



Důvody testování



- Na akumulátoru energie závisí zásadně parametry elektrických vozidel (především BEV, ale také HEV) co se týče
 - trakčních vlastností,
 - provozních vlastností a
 - investičních a provozních nákladů.

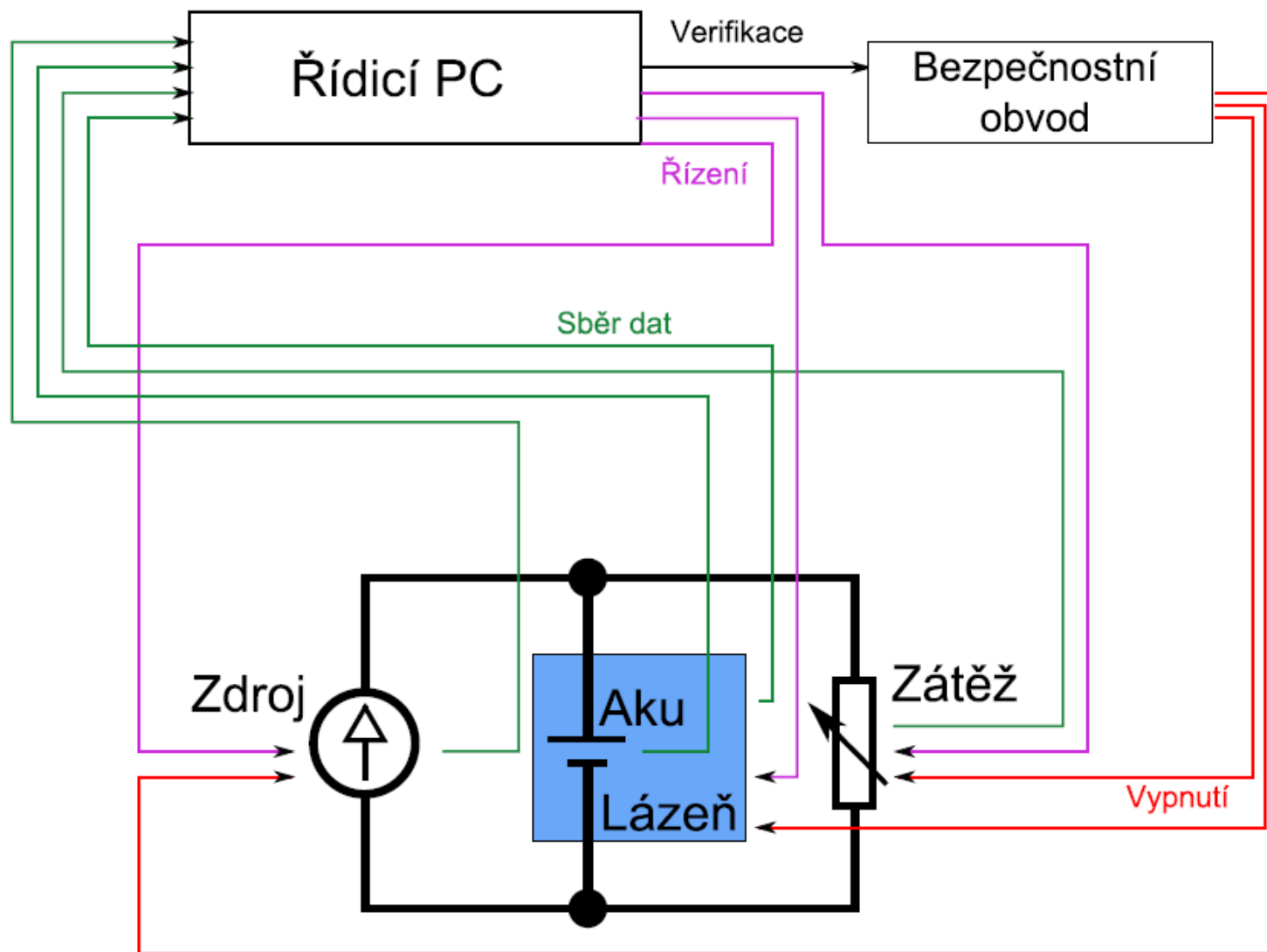
Rozsah testování

Testování elektrických akumulátorů energie:

- Měřené charakteristiky
 - krátkodobé (vybíjení a nabíjení),
 - dlouhodobé (cyklická životnost při různých provozních podmínkách).
- Možné typy testovaných elektrických akumulátorů
 - elektrochemické články nebo baterie
 - superkapacitory
- Bezpečnostní opatření při testování akumulátorů
 - dodržení provozních napětí daných výrobcem,
 - dodržení nabíjecích a vybíjecích proudů daných výrobcem,
 - vypnutí měření při překročení nastavené teploty
 - nezávislý obvod kontrolující funkci SW



Popis pracoviště – principiální schéma



Popis pracoviště - fotografie



Parametry testování

Obecné parametry

- Vzorkovací perioda T_S (s) pro pořízení a ukládání dat.
- Maximální povolená teplota ϑ_{Max} (°C).

Parametry vybíjení

- Teplota při vybíjení ϑ_{Dis} (°C).
- Vybíjecí proud I_{Dis} (A).
- Minimální napětí akumulátoru U_{Min} (V).
- Hloubka vybíjení DOD (%).
- Časová prodleva po vybití TD_{Dis} (s).

Parametry nabíjení

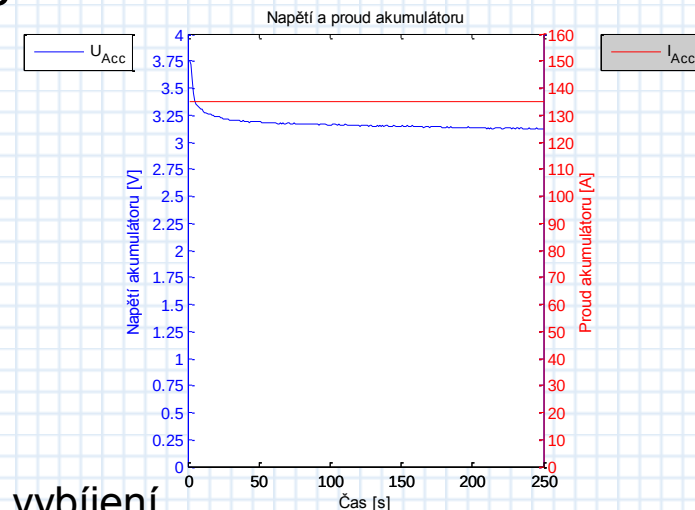
- Teplota při nabíjení ϑ_{Ch} (°C).
- Nabíjecí proud I_{Ch} (A).
- Maximální napětí akumulátoru U_{Max} (V).
- Minimální nabíjecí proud I_{ChMin} (A).
- Časová prodleva po nabití TD_{Ch} (s).

***Na pracovišti je možné naprogramovat různá schémata testování.
Následuje popis cyklického testování s průběžnými testy kapacity.***

Popis 1 dílčího cyklu – 1) vybíjení

1) Vybíjení

- Vybíjení nastaveným proudem I_{Dis} .
- Do příslušných datových souborů se s nastavenou periodou T_S ukládají následující měřené/dopočítané veličiny:
 - teplota,
 - napětí akumulátoru,
 - vybíjecí proud akumulátoru,
 - výkon při vybíjení,
 - celková vybitá energie.
- Vybíjení se ukončí, pokud
 - je dosažena nastavená hloubka vybíjení DOD , nebo
 - je dosaženo minimální napětí akumulátoru U_{Min} , nebo
 - je překročena maximální povolená teplota ϑ_{Max} .



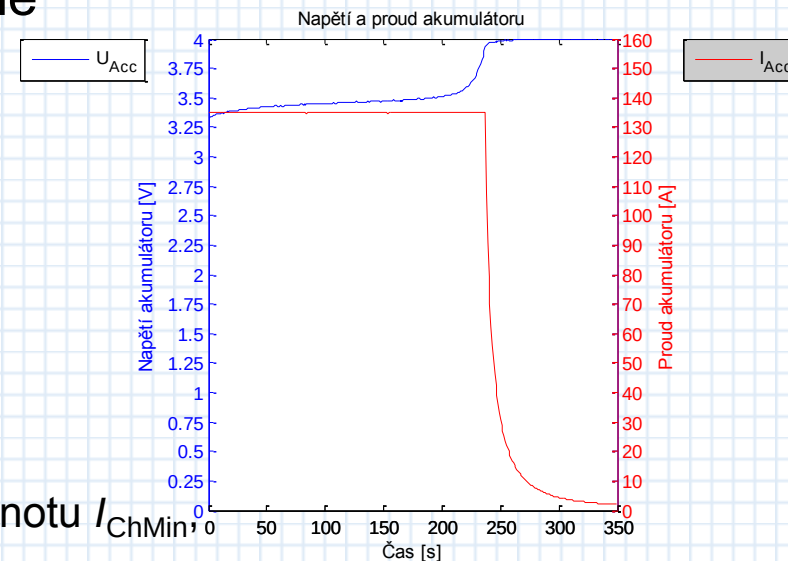
Popis 1 dílčího cyklu – 2) nabíjení

2) Nabíjení

- Nabíjení nastaveným proudem I_{Ch} .
- Do příslušných datových souborů se s nastavenou periodou T_S ukládají následující měřené/dopočítané veličiny:

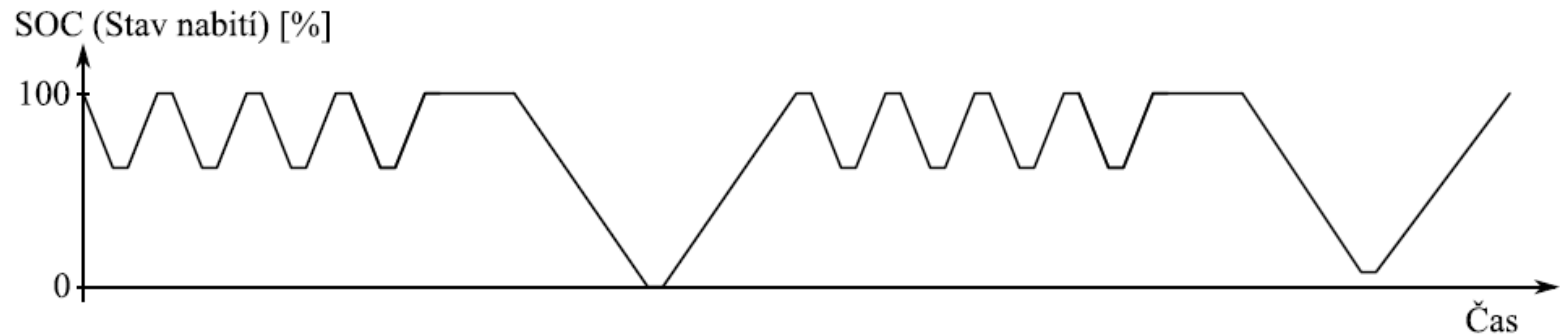
- teplota,
- napětí akumulátoru,
- nabíjecí proud akumulátoru,
- výkon při nabíjení,
- celková nabitá energie.

- Nabíjení je ukončeno, pokud
 - nabíjecí proud klesne pod hodnotu I_{ChMin} nebo
 - je dosaženo maximální napětí akumulátoru, nebo
 - je překročena maximální povolená teplota ϑ_{Max} .



Popis dlouhodobého testování

Proběhne nastavený počet **metacyklů**.



1 **metacyklus** sestává z:

- nastaveného počtu výše popsaných dílčích cyklů.
- jednoho testu kapacity akumulátoru
 - plné vybití do minimálního napětí akumulátoru U_{Min} .
- V příslušných datových souborech se ukládají měřené/vypočtené hodnoty po celou dobu testování

Použitý HW – nejdůležitější přístroje

- Programovatelný zdroj A6KW (PCE Powercontrol).
 - zdroj napětí max. 20 V, 300 A, 6000 W.
- Programovatelná zátěž EL-9080-400 (Elektroautomatik).
 - elektronická zátěž max. 80 V, 400 A, 4800 W.
- Programovatelný oběhový termostat F33-ME (JULABO).
 - lázeň s teplotním rozsahem -30 až +200 °C (topení i chlazení).
- 16-bitová karta DAQ 6036E (National Instruments).
 - měření napětí akumulátoru,
 - vyhodnocení měření teploty pomocí senzoru SMT 160,
 - generování verifikačního signálu pro bezpečnostní obvod



SW řešení

- SW Labview je použit pro komplexní ovládání testování, mimo jiné
 - zadávaní parametrů testování, ovládání přístrojů,
 - pořizování a předzpracování dat, správa datových souborů

Tlačítko: Spustení měření

Nyní je měření spuštěno

Po zmáčknutí tohoto tlačítka:

- měření se nespustí
- běžící měření se přeruší (doběhne 1 cyklus)

Indikatory, pocitadla

Soucasny stav

prodleva vybijeni -> nabijeni normalni

předpokladany konec mereni

29.5.2013

14:10:16

Pocitadlo cyklu

2

Pocitadlo metacyklu

0

Vsechny komponenty OK?

A6KW 20-300

EL 9080-400

Mereni teploty

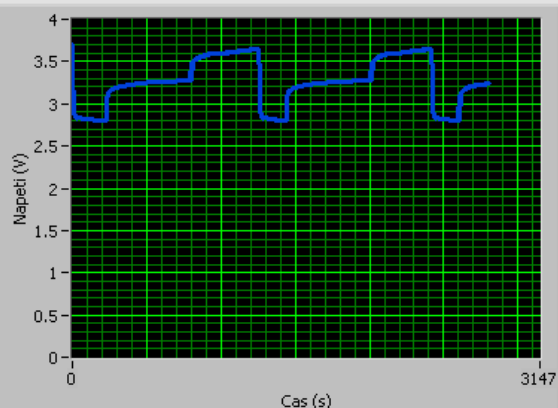
Mereni napeti

Julabo F33-ME

napeti baterie (V)

3.236

Prubeh napeti



Parametry dane vyrobcem

Minimalni napeti akumulatoru (V)

2.8

Kapacita baterie (Ah)

90

Maximalni napeti akumulatoru (V)

3.7

Jmenovite napeti akumulatoru (V)

3.2

Parametry dilciho testovani

Pocet cyklu

10

Hloubka vybijeni (%)

50

Proud vybijeni (A)

90

Proud nabijeni (A)

45

Napeti na baterii pri nabijeni (V)

3.65

Proud pro ukonceni nabijeni (A)

5

Parametry celeho testovani

Pocet metacyklu
(cykly + 1x test kapacity)

3

Oznaceni akumulatoru (v nazvu souboru)

LF

Cislo baterie LF

3

Startovaci index pro .txt

17158

Nastaveni teplot

Teplota pri dilcim vybijeni

0

Teplota pri dilcim nabijeni

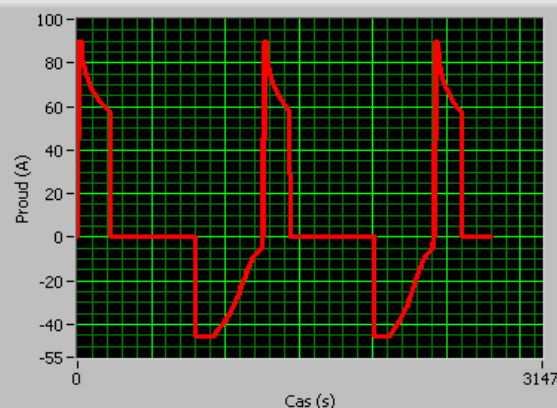
20

Aktualni merene hodnoty

proud baterie (A)

0

Prubeh proudu



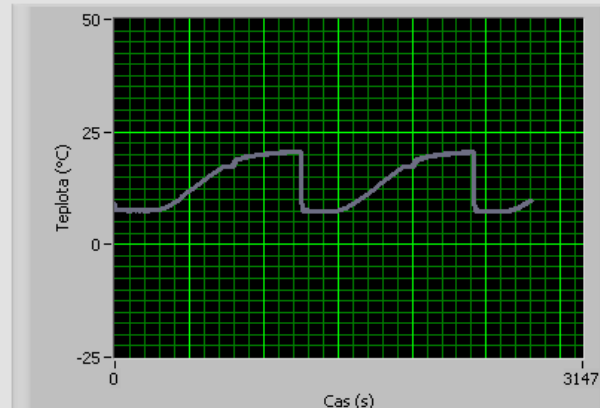
teplota lazne

8.04

teplota baterie (°C)

9.603

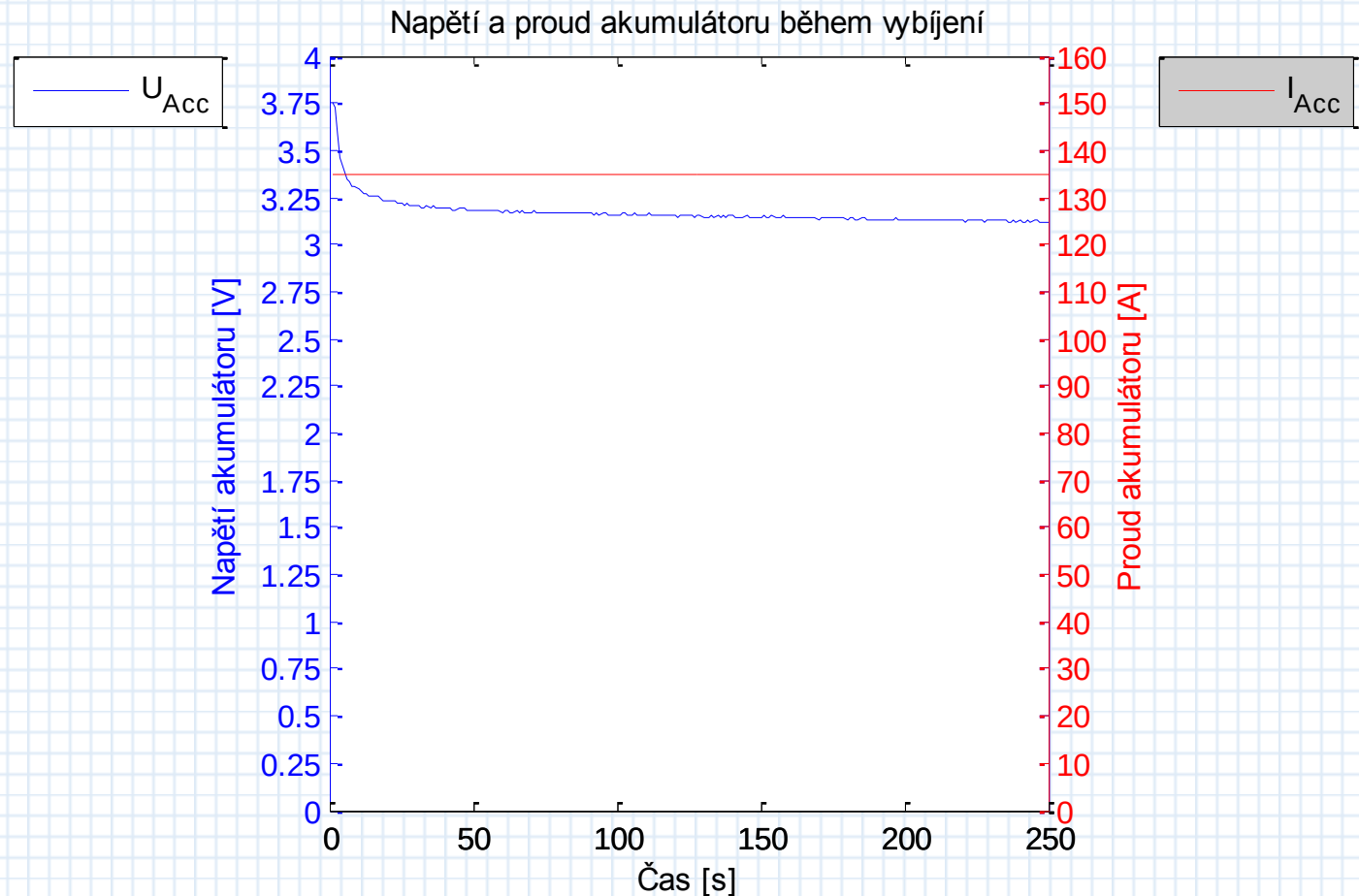
Prubeh teploty



Výsledky testování

1) Vybíjení – napětí a proud

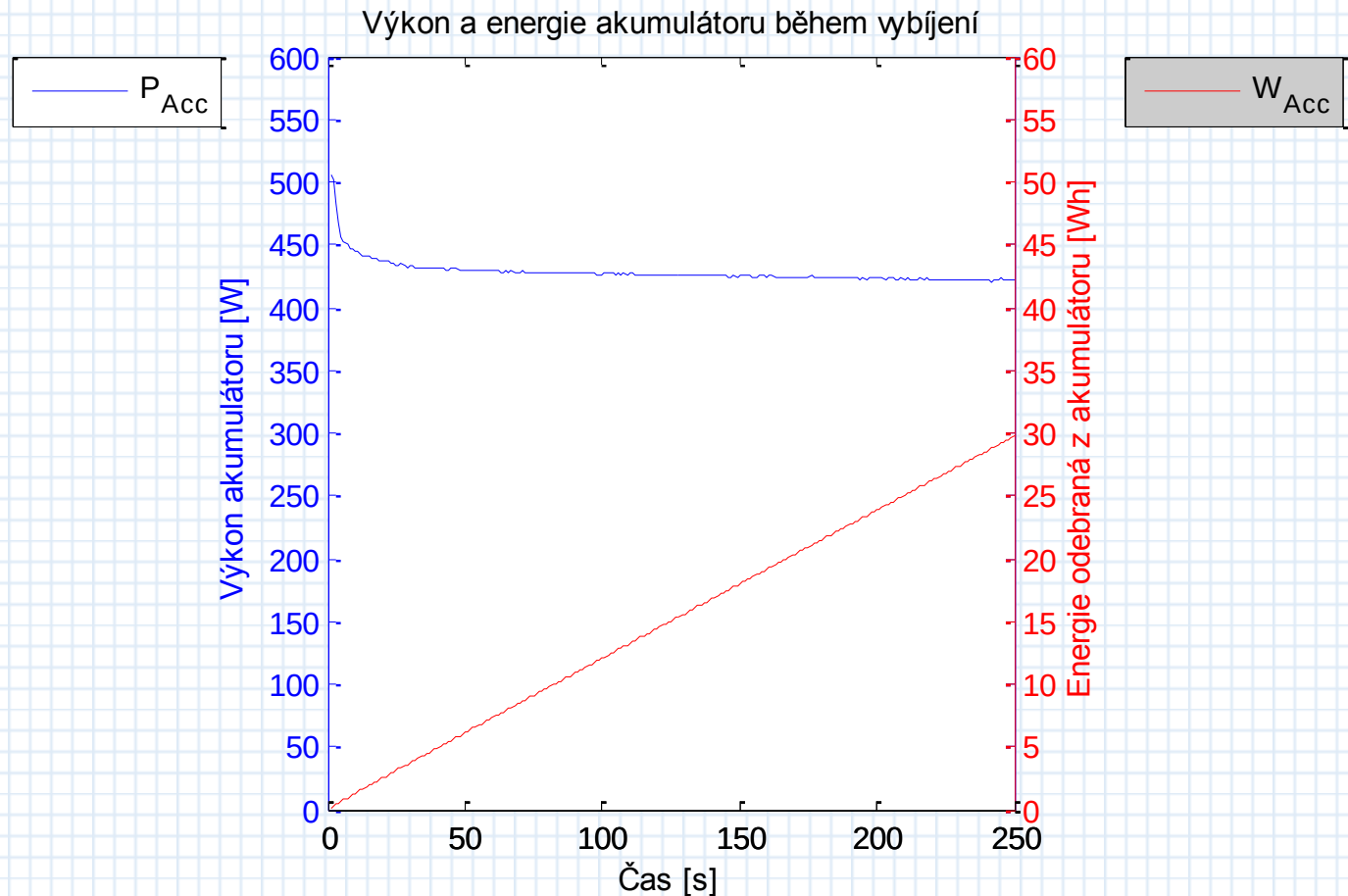
Napětí a proud během vybíjení akumulátoru 90 Ah LiFeYPO₄ po 13000 cyklech 10% hloubky vybíjení proudem 135 A.



Výsledky testování

1) Vybíjení – výkon a energie

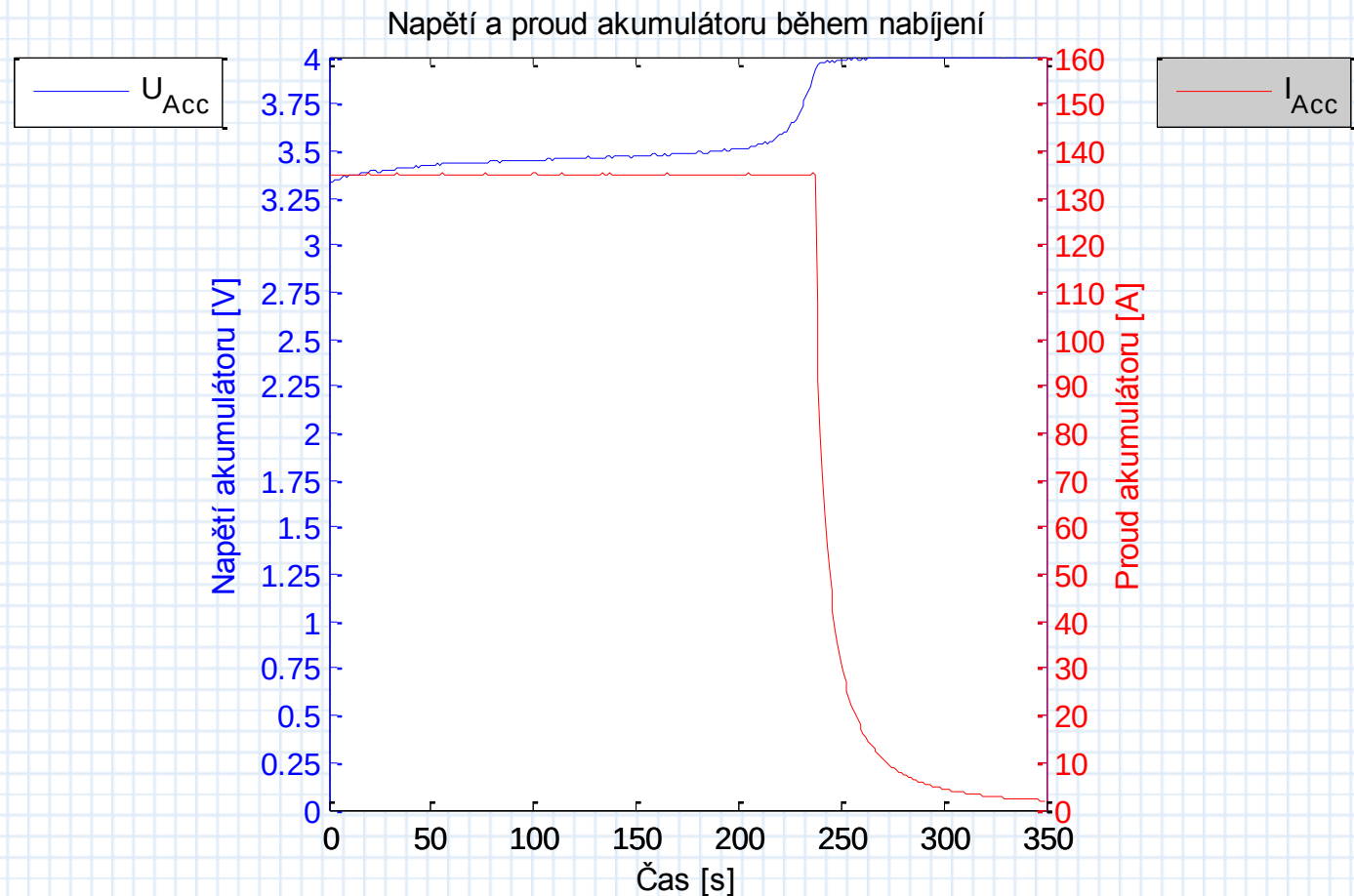
Výkon a energie během vybíjení akumulátoru 90 Ah LiFeYPO₄ po 13000 cyklech 10% hloubky proudem 135 A.



Výsledky testování

2) Nabíjení – napětí a proud

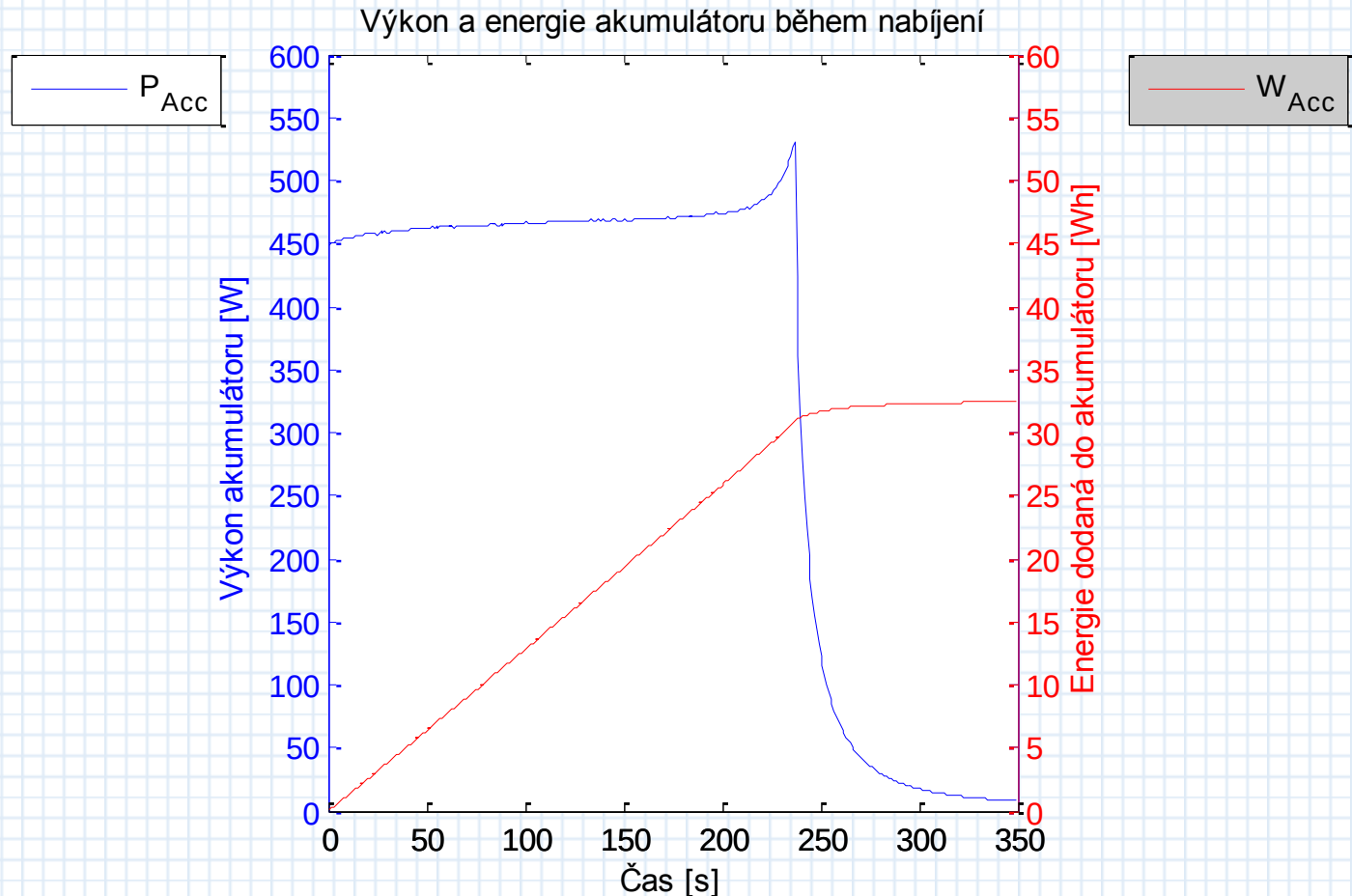
Napětí a proud během nabíjení akumulátoru 90 Ah LiFeYPO_4 po 13000 cyklech 10% hloubky proudem 135 A.



Výsledky testování

2) Nabíjení – výkon a energie

Výkon a energie během nabíjení akumulátoru 90 Ah LiFeYPO_4 po 13000 cyklech 10% hloubky proudem 135 A.



Výsledky testování

Shrnutí příkladu výsledků – akumulátor 90 Ah

LiFeYPO_4 po 13000 cyklech 10% hloubky proudem 135 A.

I [xC]	W_{out} [Wh]	W_{in} [Wh]	η^* [%]
1,5	29,6	32,4	91,4

* energetická účinnost nabíjení



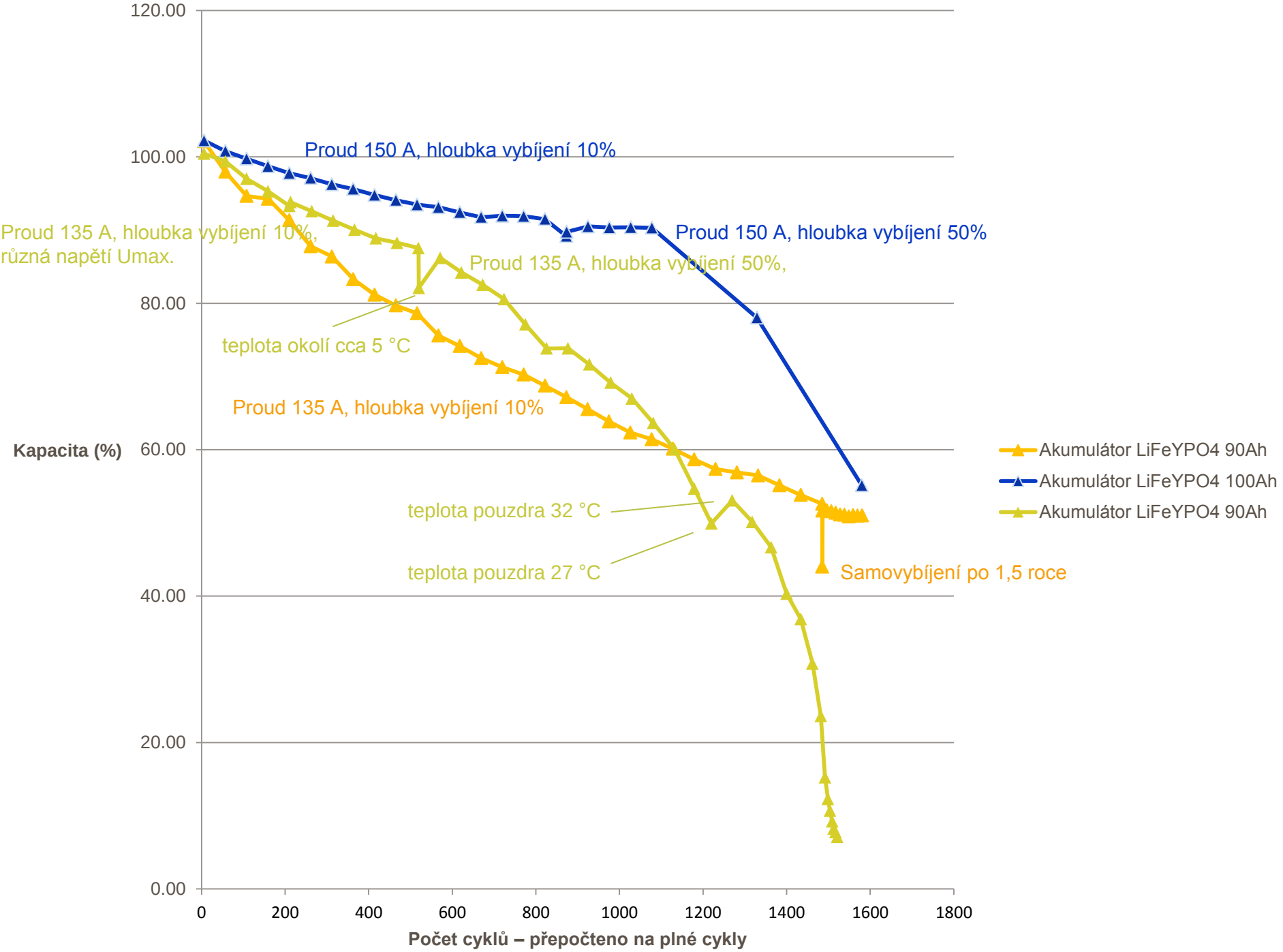
Jiný výsledek:

akumulátor 90 Ah

LiFeYPO_4 po cca 60

hlubokých cyklech

proudem 3C.



Výsledky testování

Cena za jednu uloženou kilowatthodinu:

Z výsledných kapacitních charakteristik (viz předchozí snímek) plyne **pro akumulátor s oranžovou charakteristikou:**

- **kapacita po 465 plných cyklech je 80 % nominální kapacity**
 - pokud v tuto chvíli akumulátor vyhodíme, zaplatili jsme za uložení a zpětnou dodávku 1 kWh elektrické energie **19 Kč!**
 - (pro akumulátor s modrou charakteristikou zaplatíme **9 Kč.**)
- **kapacita po 1128 plných cyklech je 60 % nominální kapacity**
 - pokud v tuto chvíli akumulátor vyhodíme, zaplatili jsme za uložení a zpětnou dodávku 1 kWh elektrické energie **8 Kč.**

pro akumulátor se žlutozelenou charakteristikou:

- **kapacita po 1500 plných cyklech je 5 % nominální kapacity**
 - pokud AŽ v tuto chvíli akumulátor vyhodíme, zaplatili jsme ITAK za uložení a zpětnou dodávku 1 kWh elektrické energie **5,50 Kč!**

Výsledky v náročných laboratorních podmínkách neodpovídají provozu ve vozidle, který je pro akumulátory příznivější. Proto testujeme akumulátory i přímo na vozidle (viz dále).

Shrnutí, plán rozvoje pracoviště

Pracoviště pro testování elektrických akumulátorů

- Od roku 2010 na Českém vysokém učení technickém v Praze,
 - Fakultě dopravní,
 - Ústavu řídicí techniky a telematiky (od r. 2013 Ústav dopravní telematiky)
- Možnost provádění krátkodobých i dlouhodobých testování,
- Elektrochemické akumulátory, superkapacitory
- Programovatelné cyklování akumulátorů.
- Od května 2013 programovatelné řízení teplot testování.

Další plány

- Vytvoření komplexního testování různých charakteristik akumulátorů (závislosti OCV, SOC, SOH, vnitřního odporu, teplot, při různých proudech atd.) s možností vydání „certifikátu akumulátoru“.



Testování akumulátorů na vozidle



BEV Citroën Saxo Electrique:

- doc. Ing. Martin Leso, Ph.D., ČVUT FD
- Rebaterizace 42 sériově zapojenými akumulátory 3,2 V, 160 Ah
- Čínské akumulátory Winston Battery, technologie LiFeYPO_4
- Instalovaný automatizovaný monitorovací systém
 - původní i dodatečně osazená čidla
 - záznam důležitých provozních veličin
 - datum, čas,
 - meteorologické údaje (teplota, tlak, vlhkost),
 - údaje z přijímače GPS (čas, poloha, nadmořská výška aj.),
 - rychlost a vzdálenost odometru,
 - napětí a proud trakční baterie
 - ukládání předzpracovaných hodnot do datových souborů každou vteřinu



Modelování akumulátorů

Model chování akumulátorů

- vstupem je požadovaný výkon akumulátoru a čas trvání tohoto výkonu
- dalšími vstupy jsou parametry, charakteristiky a stav akumulátoru na začátku časového úseku
- výstupem je stav akumulátoru na konci časového úseku a informace o splnitelnosti požadovaného výkonu
- model je verifikován měřením akumulátorů v laboratoři i v BEV
- model je navázán na nadřazený model BEV, který je taktéž verifikován provozním měřením na BEV



Modelování BEV - ukázka

