

# Trendy v designu energetických úložišť pro elektrická vozidla

## Perspektivy elektromobility VIII

Pavel Jandura | 15. 03. 2016



# Obsah prezentace

- **Úvod do problematiky**
- **Technologická omezení moderních energetických úložišť**
  - **Superkapacitory**
  - **Palivové články H<sub>2</sub>**
  - **Lithiové akumulátory**
- **Technologická omezení elektrických vozidel kategorie M1**
  - **Hmotnost**
  - **Dostupný instalační prostor pro energetické úložiště**
  - **Použitá platforma karoserie**
- **Design energetických úložišť elektrických vozidel kategorie M1**

# Úvod do problematiky

## ■ klíčové technické požadavky kladené na moderní BEV

- dojezd ==> existuje optimum?
- rychlost dobíjení ==> existují technologické limity?
- životnost ==> standard 8 let / 160 tis km?

## ■ sekundární technické požadavky

- vysoká dynamika jízdy
- nízká spotřeba
- žádná prostorová omezení

=> **Technologie a design úložiště elektrické energie ve voze ovlivňuje všechny uvedené požadavky.**



TUL baterie Gen2,  
2015

# Technologická omezení moderních energetických úložišť

## ■ Superkapacitory

- cena za kWh  $\Rightarrow$  45 000 USD/kWh<sup>1)</sup>
- specifická hustota energie  $\Rightarrow$  modul: 1,7 Wh/l, resp. 2,3 Wh/kg<sup>1)</sup>  
článek: 10 Wh/l, resp. 7,6 Wh/kg<sup>2)</sup>
- vliv teploty na životnost  $\Rightarrow$  při skladování i provozu
- potřeba DC-DC měniče  $\Rightarrow$  pro plné využití kapacity

$\Rightarrow$  *Technologie superkapacitorů nedosáhla za posledních 10 let významného zlepšení jejich parametrů a především snížení ceny.*



Maxwell Technologies superkapacitory, přehled 2015 [1]

1) Maxwell Technologies 125V Heavy Transportation Module  
2) Maxwell Technologies K2 2,85V/3400F

# Technologická omezení moderních energetických úložišť

## Palivové články H<sub>2</sub>

- FC nepatří mezi RES<sup>1)</sup> (*Rechargeable Energy Storage*)
- vysoký vnitřní odpor samotných článků<sup>1)</sup>
- pomalý tzv. studený start<sup>1)</sup>
- pomalá odezva na skokovou změnu výkonu<sup>1)</sup>
- nutnost termálního managementu PEM-HFC (*cca 70-95°C*)
- nutnost DC-DC měniče

⇒ *Technologii palivových článků se daří kontinuálně vylepšovat, problémem ale stále zůstává cena celé technologie.*



Toyota Mirai, MY2016 [2]

1) Nutnost použití HV baterie min. ~1 kWh / 30 kW s DC-DC měničem.

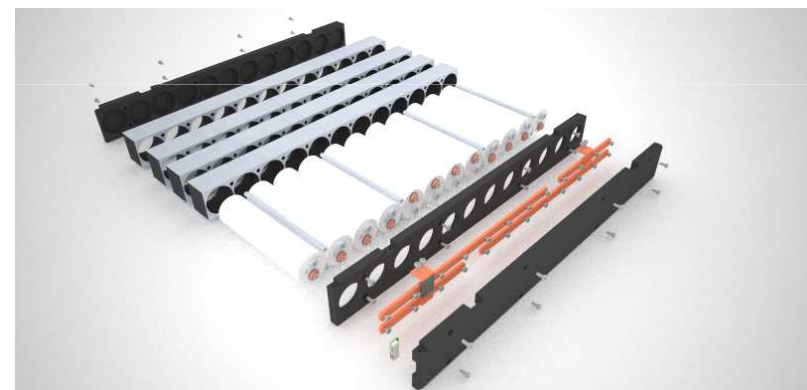
# Technologická omezení moderních energetických úložišť

## ■ Lithiové akumulátory

- cena za kWh  $\Rightarrow$  **670 USD/kWh<sup>1)</sup>**
- specifická hustota energie  $\Rightarrow$  modul: 246 Wh/l, resp. 166 Wh/kg<sup>2)</sup>  
článek: 750 Wh/l, resp. 260 Wh/kg<sup>3)</sup>
- vliv teploty na životnost  $\Rightarrow$  při skladování i provozu
- rychlodobíjení  $\Rightarrow$  nízká specifická hustota energie

$\Rightarrow$  **Technologie Li-Ion je dnes nejrychleji se vyvíjející technologií jak v oblasti parametrů tak i snižování ceny za kWh.**

- 1) VW e-Golf MY2016 celek vysokonapěťová baterie  
náhradní díl 5QE915590AM: 16 000 USD (MSRP: 15 600 Eur)
- 2) Tesla Model S, 90 kWh celek vysokonapěťová baterie.
- 3) LG chem INR18650-MJ1 3500mAh 12,6 Wh, NCA technologie.



TUL modul baterie vč. PCM Gen2, 2015

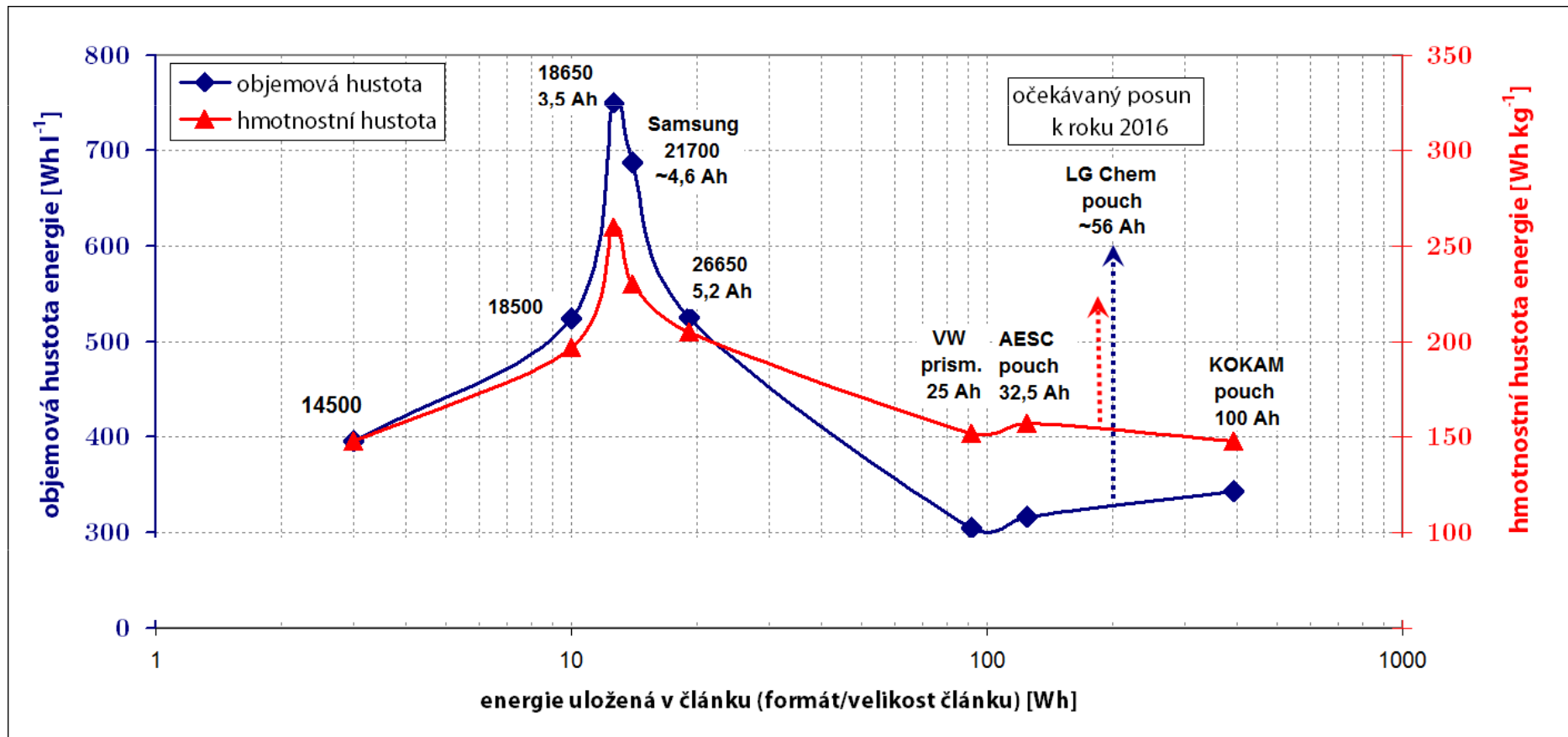
## ■ Lithiové akumulátory

- Lithiové akumulátory dnes využívají velmi mnoho chemických struktur, kde základní dělení závisí na použité vazbě aktivního materiálu elektrod:  
lithium-kov (**Li-metal**); lithium-síra (**Li-S**); lithium-vzduch (**Li-Air**)
- Dle aktivního materiálu kladné elektrody struktury Li-metal dále rozlišujeme  $\text{LiCoO}_2$  (**LCO**),  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (**LMO**),  $\text{LiNiMnCoO}_2$  (**NMC**),  $\text{LiNiCoAlO}_2$  (**NCA**),  $\text{LiFePO}_4$  (**LFP**) a další ...
- Aktivní materiál záporné elektrody bývá na bázi grafitu (**C**) nebo materiálu  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (**LTO**). Záporné elektrody čistě na bázi křemíku (**Si**) dodnes nejsou prakticky použitelné<sup>1)</sup>.
- Dle fyzického provedení článku rozlišujeme formáty **cylindrický**, **prizmatický** a „**pouch**“ (často označovaný jako Li-Pol).

1) Dnes se ale již hojně využívá příměsí Si do základního materiálu anody.



## Lithiové akumulátory



- 1) 14500, 18500, 18650, 21700, 26650 jsou průmyslové formáty malých cylindrických článků.
- 2) Hodnoty formátu 18650 reprezentuje 12,6 Wh články LG Chem INR18650-MJ1 (ekvivalent nabízí i Samsung a Sanyo).
- 3) Hodnoty energetické hustoty pro pouch články LG Chem ~56 Ah (Chevy Bolt) jsou estimovány.
- 4) Audi očekává dosažení hodnoty 750 Wh/l u svých pouch článků v roce 2025, nyní disponuje 550 Wh/l [3].



# Technologická omezení moderních vozidel kategorie M1

## ■ Hmotnost

- kategorie M1 není přímo omezena hmotností
  - omezení představuje řidičské oprávnění skupiny B do 3500 kg<sup>1)</sup>
- ⇒ přívěs 750 kg<sup>1)</sup> + užitečná hmotnost 595 kg<sup>2)</sup> = **2155 kg** vůz vč. baterie

## ■ Dostupný instalační prostor pro energetické úložiště

- bez omezení posádky i užitečného nákladu
  - nutnost přizpůsobení instalačního prostoru pro tlakové nádrže.
  - dostupný prostor dle třídy vozidla:
- ⇒ ~200-250 l (mini+malé) ~250-300 l (střední) ~350-400 l (luxusní+SUV)

1) Převyšující 750 kg, pokud největší povolená hmotnost této jízdní soupravy nepřevyšuje 3500 kg.

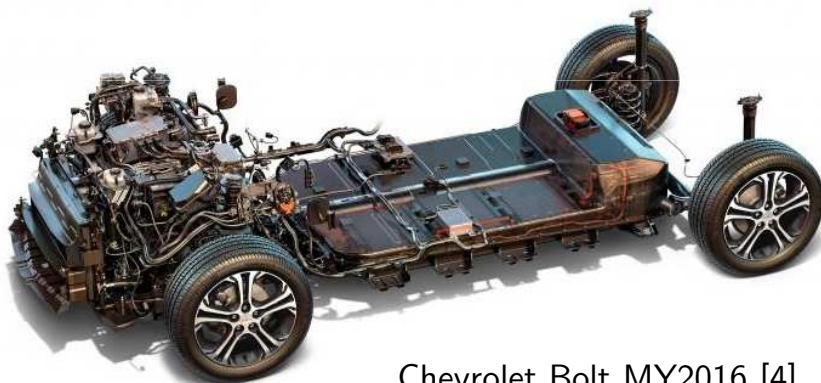
2) VW Golf MY2016, pro e-Golf MY2016 platí pohotovostní hmotnost 450 kg.

## Platforma karoserie

### 1 Samonosná (modulární)

- levnější výroba => zavedená technologie, sdílení dílů s ICE
- nižší hmotnost => cca o 10 % proti podvozkové
- nízká výška vozidla => lze nízko usadit posádku

=> *Samonosná karoserie není sama o sobě problémem pro efektivní využití dostupného prostoru. Problémem je její modulární provedení.*



Chevrolet Bolt MY2016 [4]



VW e-Golf MY2016 [5]

## Platforma karoserie

### 2 Podvozková („skateboard“)

- vyšší pevnost => vyšší pasivní bezpečnost
- vyšší nosnost => není problém realizovat >2000 kg
- vyšší posez posádky => Tesla ~100 mm, BMW i3 ~180 mm

=> Podvozková karoserie umožňuje vyhradit více prostoru pro úložiště energie než samonosná, zejména pak ve vozidlech typu SUV / CUV.



Kia FCEV platform 2015 [6]



BMW i3 MY2016 [7]

# Design energetických úložišť elektrických vozidel kategorie M1

## ■ Obecně respektované zásady návrhu energetického úložiště

- důsledné dbání na výhodné rozložení hmotnosti ve voze
- bateriová energetická úložiště umožňují rychlou servisní výměnu<sup>1)</sup>
- většina vozidel stále využívá technologii teplotního managementu<sup>2)</sup>

=> zejména kapalinový teplotní management významně prodražuje výrobu

## ■ Krátkodobý výhled vývoje technologie Li-Ion

- do roku 2020 si zřejmě udrží nejvyšší dostupnou energetickou hustotu Li-Ion technologie malých cylindrických článků do ~20 Wh.

=> lze očekávat další optimalizace v návrhu modulů s ohledem na výrobu

1) Systémy rychlé provozní výměny energetického úložiště se v současné době neprosadily.

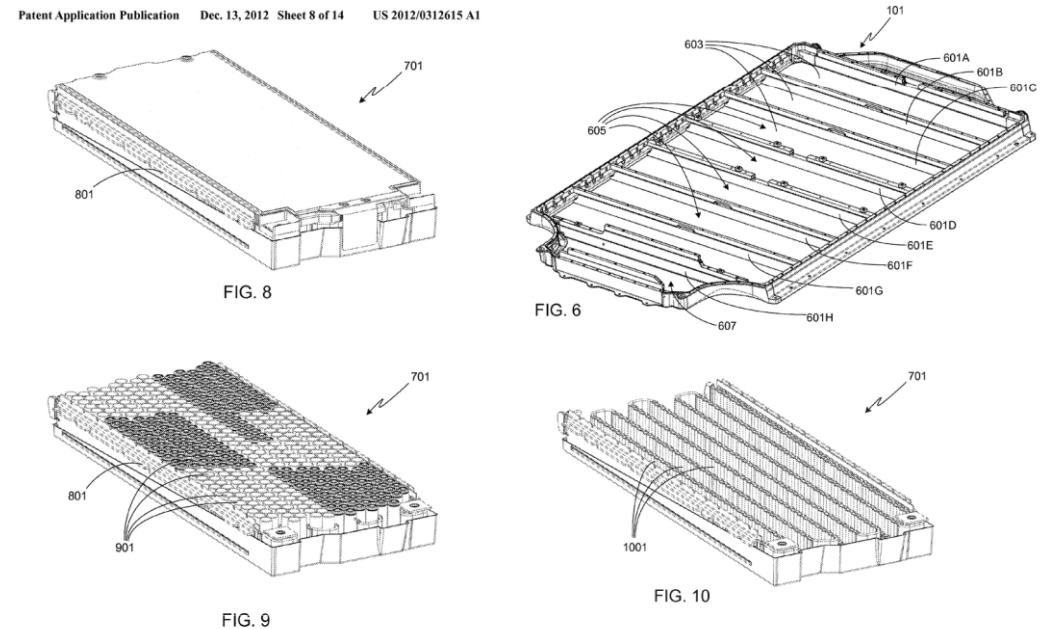
2) Vozy VW e-Golf a e-UP! využívají pouze pasivní management, Nissan Leaf využívá pouze systém ohřevu baterie.

## Tesla Model S/X 90 kWh => Technologie roku 2016

Parametry energetického úložiště	
Platforma	podvozková
Kapacita <sup>1)</sup>	90 kWh
Objem <sup>2)</sup>	365 l
Hmotnost <sup>2)</sup>	540 kg
Objemová hustota <sup>2)</sup>	246 Wh/l
Hmotnostní hustota <sup>2)</sup>	166 Wh/kg

1) Hodnota reprezentuje nominální kapacitu udávanou výrobcem

2) Hodnoty jsou pouze estimovány s odchylkou  $\pm 5\%$



Tesla Model S baterie MY2015 [8]

- technologie roku 2016 => 90 kWh @ 540 kg
- předpokládaný vývoj => 100 kWh @ 580 kg MY2018?  
(~7872 článků 18650 @ 12,6 Wh)\*

\* K navýšení počtu článků lze dospět úpravou teplotního managementu modulů => přechod na technologii heatpipe.

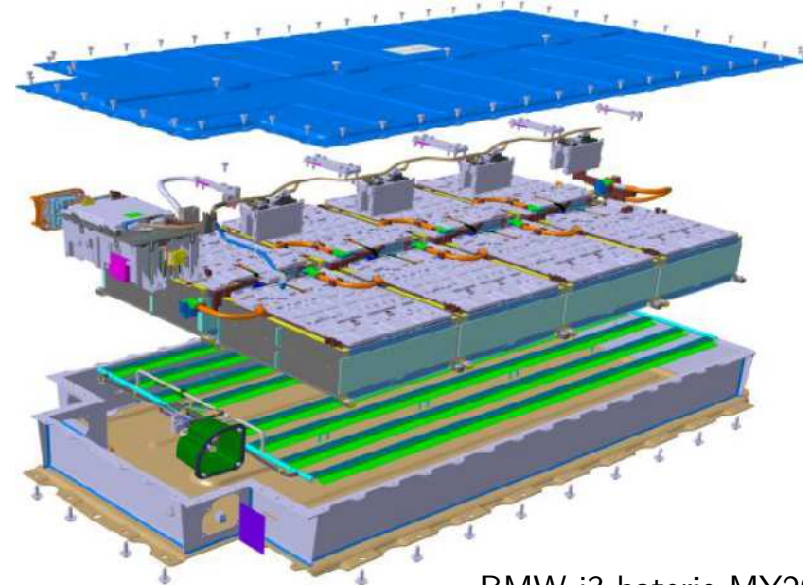


## ■ BMW i3 MY2016

Parametry energetického úložiště	
Platforma	podvozková
Kapacita <sup>1)</sup>	22 kWh
Objem <sup>2)</sup>	261 l
Hmotnost	233 kg
Objemová hustota <sup>2)</sup>	84 Wh/l
Hmotnostní hustota	95 Wh/kg

1) Hodnota reprezentuje nominální kapacitu udávanou výrobcem

2) Hodnoty jsou pouze estimovány s odchylkou  $\pm 5\%$



BMW i3 baterie MY2016 [9]

○ technologie roku 2016

⇒ 64 kWh @ 385 kg

○ předpokládaný vývoj

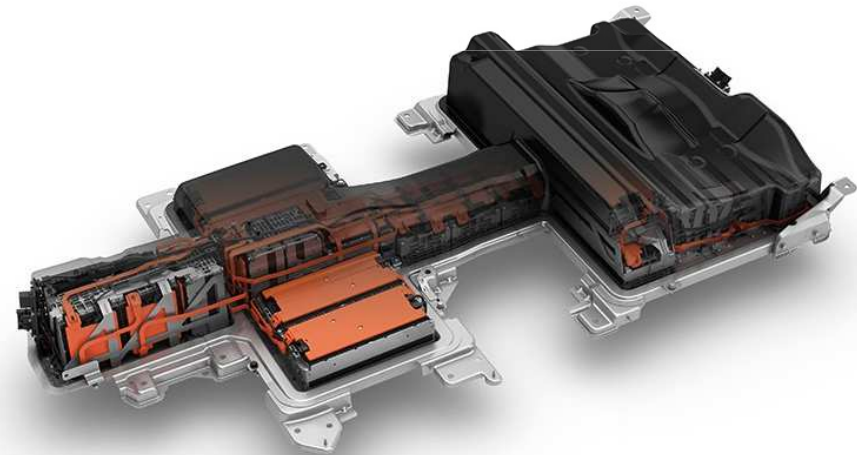
⇒ 33,4 kWh (94 Ah články) MY2017

⇒ 43,2 kWh (120 Ah články) MY2019?

## ■ Volkswagen e-Golf MY2016

Parametry energetického úložiště	
Platforma	samonosná
Kapacita <sup>1)</sup>	24 kWh
Objem	229 l
Hmotnost	312 kg
Objemová hustota	106 Wh/l
Hmotnostní hustota	76 Wh/kg

<sup>1)</sup> Hodnota reprezentuje nominální kapacitu udávanou výrobcem



VW e-Golf baterie MY2016 [10]

- technologie roku 2016 ⇒ **48 kWh\* @ 290 kg**
- předpokládaný vývoj ⇒ **34,9 kWh (36 Ah články) MY2017?**
- ⇒ **? kWh (platforma MEB) MY2019?**

\* Započítán koeficient 0,9 zohledňující nepravidelný tvar vyhrazeného prostoru úložiště.





## ■ Nissan Leaf MY2016

Parametry energetického úložiště	
Platforma	samonosná
Kapacita <sup>1)</sup>	30 kWh
Objem <sup>2)</sup>	??? l
Hmotnost	300 kg
Objemová hustota <sup>2)</sup>	??? Wh/l
Hmotnostní hustota	100 Wh/kg

1) Hodnota reprezentuje nominální kapacitu udávanou výrobcem

2) Hodnoty jsou pouze estimovány s odchylkou  $\pm 5\%$



Nissan Leaf baterie MY2015 [12]

○ technologie roku 2016

⇒ ~48 kWh\* @ 290 kg

○ předpokládaný vývoj

⇒ Leaf 2. generace (koncept Nissan IDS)?  
 60 kWh (56 Ah články LG), MY2018?

\* Započítán koeficient 0,9 zohledňující nepravidelný tvar vyhrazeného prostoru úložiště.

## ■ Chevrolet Bolt

Parametry energetického úložiště	
Platforma	samonosná
Kapacita <sup>1)</sup>	60 kWh
Objem	285 l
Hmotnost	485 kg
Objemová hustota	210 Wh/l
Hmotnostní hustota	123 Wh/kg

<sup>1)</sup> Hodnota reprezentuje nominální kapacitu udávanou výrobcem



Chevrolet Bolt baterie MY2017 [13]

- technologie roku 2016 ⇒ 70 kWh @ 420 kg
- předpokládaný vývoj ⇒ Opel Ampera-e pro EU, MY2018?

# Děkuji vám za pozornost

 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií

 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta strojní

 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Ústav pro nanomateriály, pokročilé  
technologie a inovace

Ústav mechatroniky  
a technické informatiky  MTI  
Technická univerzita v Liberci

 **KVM**  
**Katedra vozidel a motorů**  
Fakulta strojní  
Technická univerzita v Liberci



## ■ Zdroje informací a ilustrací

[1-13] Ilustrace a technické informace jsou převzaty z tiskových zpráv, prohlášení, technické dokumentace, katalogů a patentů společností v následujícím pořadí:

Maxwell Technologies, Inc.  
Toyota Motor Corporation  
Audi AG  
General Motors  
Volkswagen AG  
Hyundai Motor Company Ltd.  
BMW AG  
Tesla Motors, Inc.  
Nissan Motor Company Ltd.